

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Previsão Geográfica de Fiabilidade em Linhas da
RNT**

Nuno José Vasconcelos Moreira

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Domingos Martins Monteiro

Julho de 2011

Resumo

É de conhecimento geral que o funcionamento básico do sistema de transporte de energia assenta no transporte eficaz e fiável de energia eléctrica entre os centros produtores e as cargas. A fiabilidade deste tipo de serviço é afectada por diversos condicionantes desde defeitos nos próprios equipamentos que constituem a rede de transporte até condicionantes externos que em muito estão relacionados com a ocorrência de condições atmosféricas adversas e com a meteorologia e a geografia que nos rodeia.

É neste último grupo de defeitos que se foca o assunto desta dissertação, mostrando e justificando a sua relevância e impacto no funcionamento actual do sistema de transporte, a contribuição deste tipo de defeitos no conjunto global de falhas ocorridas num dado espaço de tempo, os principais elementos atmosféricos e geográficos que contribuem para uma maior probabilidade de ocorrência destes defeitos e demonstrando uma solução para análise e previsão da ocorrência de falhas na rede de transporte levando em conta todos estes factores e o registo de ocorrências, conjugando-os temporalmente e geograficamente com vista à construção de um modelo matemático.

Com base neste objectivo, há todo um trabalho de tratamento estatístico com base em todo um conjunto de informação, desde registo de falhas na RNT até informações de previsões meteorológicas, processado em ordem ao tempo e ao espaço permitindo obter, como produto final, um modelo dinâmico de previsão horária de ocorrência de falha a um nível distrital.

Abstract

It is well known that the basic operation of energy transport system is based on efficient and reliable transport of electricity between production centres and load points. The reliability of this type of service is affected by various conditions from defects in their own equipment which constitute the network of transport to external conditions that are much related to the occurrence of adverse weather conditions and weather and geography that surrounds us.

It is this last group of defects that focuses on the subject of this thesis, showing and explaining their relevance and impact in the actual operation of the transport system, the contribution of such defects in the global set of faults occurring in a given period of time, the main weather elements and geographic contribute to a higher probability of occurrence of failures in the energy transport system taking in account all these factors and the record of failures, combining temporally and geographically in order to construct a mathematical model.

Based on this goal, a work of statistical analysis based on a range of information from fault logging in RNT to weather information, processed in order to time and space so you get as final product, a dynamic model forecasting hourly occurrence of a fault with district order.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, deixo aqui uma palavra de carinho e de agradecimento aos meus pais e irmão por todo o apoio e insistência ao longo de todo o curso para que todo este percurso fosse realizado com sucesso.

Um agradecimento em especial para o meu orientador pela oportunidade que me foi dada, por todas as sugestões e ideias que foi dando ao longo do trabalho, realçando todo o incentivo, cooperação e empenho entregues ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

Uma palavra de agradecimento e também de incentivo, aos meus amigos, em particular ao Jorge Diegues e Pedro Carvalho, pelos diversos e inesquecíveis momentos de lazer proporcionados ao longo deste semestre e anos anteriores, e pela união e cooperação demonstradas nas mais diversas ocasiões.

A todos eles, um muito obrigado!

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xi
Lista de tabelas	i
Abreviaturas e Símbolos	ii
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 Âmbito e motivação da dissertação	1
1.2 Estrutura da dissertação.....	2
Capítulo 2	5
A Problemática da Fiabilidade em Redes de Transporte	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 A Influência Geográfica	6
2.3 A Influência Meteorológica	7
2.4 Diferentes Abordagens	7
Capítulo 3	13
Análise de Falhas da RNT.....	13
3.1. Introdução.....	13
3.2. Análise numérica de falhas.....	13
Capítulo 4	19
Pesquisa e Tratamento de Dados	19
4.1. Introdução.....	19
4.2. Incêndios	20
4.3. Descargas atmosféricas	24
4.4. Cegonhas	26
4.5. Vegetação	28
4.6. Variáveis atmosféricas	30
4.7. Mapas geográficos	33

4.8. Densidade de linhas	34
4.9. Densidade de vegetação.....	39
Capítulo 5	41
Potencial de Ocorrência	41
5.1. Divisão geográfica	42
5.2. Potencial de ocorrência de falhas devido a incêndios	44
5.3. Potencial de ocorrência de falhas devido a cegonhas.....	51
5.4. Potencial de ocorrência de falhas devido a descargas atmosféricas	58
5.5. Potencial de ocorrência de falhas devido ao vento	63
Capítulo 6	65
Modelização do Índice de Previsão de Falha	65
6.1. Comprimentos de linhas afectadas	65
6.2. Sigmoides.....	68
6.3. Parametização da sigmoide.....	74
6.4. Agregação global das causas.....	79
6.5. Resultados Obtidos e Análise Crítica	85
Capítulo 7	91
Conclusões	91
7.1. Conclusões principais	91
7.2. Trabalhos Futuros.....	93
Referências	95
Anexos	97
Anexo 1.....	97

Lista de figuras

Figura 2.1 - Divisão geográfica de zona e de linha.....	11
Figura 3.1 - Causas de ocorrências	14
Figura 3.2 - Número de defeitos por nível de tensão.....	15
Figura 3.3 - Distribuição de causas de falhas por níveis de tensão	16
Figura 3.4 - Incidentes nas linhas versus Incidentes atmosféricos	18
Figura 4.1 - Distribuição de ocorrências	22
Figura 4.2 - Distribuição geográfica dos incêndios.....	23
Figura 4.3 - Número de ocorrências total e área ardida por distrito	24
Figura 4.4 - Distribuição do número de ninhos por distritos	28
Figura 4.5 - Ambiente do software “FloreStat”	29
Figura 4.6 - Partição e medição do comprimento de uma linha por distritos em ArcGIS	36
Figura 4.7 - Exemplo de tabela de atributos com o comprimento, em metros, de uma linha repartida por distritos	37
Figura 5.1 - Mapa Distrital de Portugal	43
Figura 5.2 - Número de falhas nas linhas devido a incêndios	46
Figura 5.3 - Número de falhas devido a incêndios por distrito	46
Figura 5.4 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários da temperatura	48
Figura 5.5 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários da humidade relativa	48
Figura 5.6 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários de velocidade do vento	49
Figura 5.7 - Índice de Risco de Incêndio para o distrito de Vila Real.....	50
Figura 5.8 - Número de falhas devido a cegonhas por distrito.....	52

Figura 5.9 - Número de falhas devido a cegonhas por mês	55
Figura 5.10 - Gráfico com a influência do dia do ano na actividade das cegonhas	56
Figura 5.11 - Curva para a contribuição da humidade na modelização do Potencial de Ocorrência de falhas devido a cegonhas	57
Figura 5.12 - Número de falhas devido a descargas atmosféricas por distrito.....	58
Figura 5.13 - Número de falhas devido a descargas atmosféricas por mês.....	59
Figura 5.14 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e o SWEAT Index	61
Figura 5.15 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a velocidade do vento	61
Figura 5.16 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a temperatura.....	62
Figura 5.17 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a humidade relativa.....	62
Figura 6.1 - Curva típica de uma função sigmoide.....	68
Figura 6.2 - Gráfico com a dispersão de pontos do Potencial de Ocorrência em função dos valores das Ocorrências para o distrito de Guarda.....	72
Figura 6.3 - Gráfico com a dispersão de pontos das Ocorrências em função dos valores do Potencial de Ocorrência para falhas devido a descargas atmosféricas para o distrito de Faro.	73
Figura 6.4 - Parametrização da função sigmoide; influência de cada um dos parâmetros da função	74
Figura 6.5 - Forma final da curva obtida para a sigmoide relativa à probabilidade de ocorrência de falhas devido a incêndio para o distrito de Guarda.	75
Figura 6.6 - Curva obtida para probabilidade de falha devido a descargas atmosféricas no distrito de Faro	78
Figura 6.7 - Curva obtida para probabilidade de falha devido à presença de cegonhas no distrito de Setúbal	78
Figura 6.8 - Índice de probabilidade de ocorrência de falha para o distrito de Viseu.	80
Figura 6.9 - Índice de probabilidade de ocorrência de falha para o distrito de Vila Real	81
Figura 6.10 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Coimbra em contraste com as falhas ocorridas de vento e descargas atmosféricas ..	82
Figura 6.11 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Braga em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas	83
Figura 6.12 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito do Porto em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas	84
Figura 6.13 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Guarda em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas	85

Figura 6.14 - Detalhe da evolução do índice de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Guarda.	86
Figura 6.15 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Guarda.	87
Figura 6.16 - Detalhe da evolução do índice de ocorrência de falha devido ao vento em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Coimbra.	88
Figura 6.17 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a incêndios em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Vila Real	88
Figura 6.18 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a cegonhas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Santarém.....	89
Figura 6.19 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a cegonhas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Lisboa.....	89

Lista de tabelas

Tabela 4.1 - Exemplo de resultados obtidos para o Concelho de Abrantes	30
Tabela 4.2 - Níveis de severidade do índice SWEAT	33
Tabela 4.3 - Resultados para a densidade de linhas.....	38
Tabela 4.4 - Resultados para a densidade de vegetação	40
Tabela 5.1 - Tabela com a densidade de ninhos por distrito	53
Tabela 6.1 - Lista de falhas ocorridas devido a incêndios	66
Tabela 6.2 - Exemplo de resultados obtidos para comprimento de linhas afectadas	67
Tabela 6.3 - Classificação dos valores do Potencial de Ocorrência devido a incêndios para o distrito de Guarda	70
Tabela 6.4 - Reagrupamento global dos valores de Potencial de Ocorrência devido a incêndios e de comprimentos de linha afectados	71
Tabela 6.5 - Valores dos parâmetros das funções sigmóides para cada distrito.....	76

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IRI	Índice de Risco de Incêndio
PO	Potencial de Ocorrência
GIS	Geographic Information System
WRF	Weather Research Forecasting
GFS	Global Forecasting System
SWEAT	Severe Weather Threat Index

Capítulo 1

Introdução

1.1 Âmbito e motivação da dissertação

O desenvolvimento deste trabalho contextualiza-se na actualidade na crescente exigência da qualidade de serviço ao nível da rede de transporte. Há cada vez mais uma maior preocupação com as falhas que ocorrem nos diversos equipamentos constituintes da rede de transporte e, consequentemente, com a interrupção de serviço que advém dessas ocorrências. Os estudos efectuados em torno desta temática são já vários, pesando o facto de estes estudos se inclinarem sobre a análise e modelização de modelos de fiabilidade realizados posteriormente à ocorrência das falhas, levando em conta parâmetros como o tempo de interrupção média ou o tempo de reparação da avaria. Este facto aliado à circunstância de haver, na actualidade, uma forte tendência para a inclusão de inteligência computacional, não só ao nível dos pontos de consumo como tem sido feito até agora, mas também ampliado às redes de transporte, leva-nos até ao conceito de previsão de fiabilidade para redes de transporte. Este conceito é desenvolvido levando em conta o dinamismo das causas que estão na origem das ocorrências das falhas. Este tipo de modelização não foi feito até agora devido à ausência de ferramentas para modelizar esta mesma dinâmica que caracteriza a evolução das causas ao longo do tempo.

A realização desta dissertação no momento presente é motivada pela existência de um conjunto de serviços e informação que permite o seu desenvolvimento. Concretamente, dispomos de serviço de previsão meteorológica que permitem a obtenção da evolução dos vários factores que influenciam a ocorrência de falhas, permitindo a antecipação da intensificação das causas.

Por outro lado, a RNT recolhe informação detalhada relativa aos eventos de falha e as causas que estão na sua origem. Esta informação constitui uma base estatística, que pode ser desagregada por distritos ou por linhas, permitindo desta forma parametrizar os modelos de previsão de risco de falha. A junção da informação que daqui é possível obter permite, através de modelos apropriados, a construção de modelos de previsão de risco de falha. São estes modelos, ou ferramentas, que proporcionarão aos operadores de rede antecipar

possíveis ocorrências de falha e/ou cenários de exploração, explorando estes mesmos cenários através de simulações com detalhe adicional proporcionado por modelos de previsão de falha.

Esta dissertação tem, por geral, um desenvolvimento de uma metodologia de previsão geográfica e dinâmica de fiabilidade da RNT. Mais concretamente, a previsão de risco de falha a curto prazo, desagregado geograficamente. Considera-se aqui previsão a curto prazo um indicador de risco de falha para os próximos sete dias com uma discretização horária. Mais especificamente, esta dissertação tem os seguintes objectivos:

- Identificação das principais causas de falhas nas linhas da RNT.
- Tratamento estatístico das ocorrências de falhas.
- Identificação das relações de causalidade, ou seja, modelos que relacionam estatisticamente as variáveis que estão na origem da ocorrência das causas.
- Construção dos modelos e sua parametrização para obtenção do Potencial de Ocorrência de falhas para cada tipo de falha e para cada distrito.
- Construção e parametrização dos modelos para determinação da probabilidade de falha, desagregada por tipo de falha e por distrito.
- Finalmente, implementação do sistema de previsão de risco de falha da RNT.

No que diz respeito a todo o conjunto de fontes de informação que foram utilizadas, fez-se uso de informação restrita relativa à lista de falhas da REN referente ao ano de 2010. Esta lista foi cedida directamente pela REN. Utilizou-se também informação restrita sobre previsões meteorológicas fornecidas e processadas pela Universidade de Aveiro e SmartWatt.

Foi também empregado todo um conjunto de informação pública, disponível em websites de acesso livre, informação essa relativa a vários factores considerados preponderantes na metodologia usada.

1.2 Estrutura da dissertação

Apresenta-se no capítulo 2 uma descrição da problemática do tema da fiabilidade na actualidade, a razão de nos dias de hoje se tratar de um assunto sobre o qual se debruçam muitos trabalhos desenvolvidos. Há também lugar à descrição da relação entre a fiabilidade e factores como a meteorologia e a geografia de um dado território. Para além destes temas, neste capítulo realiza-se também uma revisão bibliográfica e análise às principais abordagens na área do desenvolvimento de modelos matemáticos relacionados com a temática da fiabilidade e com o impacto geográfico da mesma.

No capítulo 3 procedeu-se a uma análise da lista de falhas da REN, sobre a qual se debruça todo este trabalho. Mais concretamente sobre todas as falhas ocorridas devido a eventos atmosféricos como são exemplo as descargas atmosféricas e acidentes ambientais como a ocorrência de incêndios. Analisa-se toda a lista, em termos do número de falhas ocorridos em linhas, número de falhas ocorridas devido a cada motivo, entre outros, demonstrando que este tipo de falhas constitui um motivo sobre o qual nos devemos debruçar.

No capítulo 4, há lugar a todo uma pesquisa e tratamento de dados relativos a todos os dados que são necessários para a modelização matemática, de carácter geográfico e meteorológico, que aqui se pretende modelizar. Dados relativos ao histórico de ocorrências de incêndios, densidade de vegetação, mapas geográficos com o traçado das linhas da rede de transporte de energia e com a disposição geográfico dos concelhos em Portugal e valores horários relativos a quatro variáveis atmosféricas obtidos através de modelos de previsão de tempo são, todos eles, alvo de pesquisa e tratamento.

Com todos os dados necessários obtidos, há um procedimento de modelização da potencialidade de ocorrer cada uma das causas que estão por detrás das falhas ocorridas nas linhas. Estas funções são denominadas de Potencial de Ocorrência, e são modelizadas, para cada causa, levando em conta todos os factores considerados relevantes na ocorrência dessa mesma causa. Todo este processo é demonstrado no capítulo 5.

Por último, no capítulo 6, temos o modelo matemático da fiabilidade, modelo este que permite obter, para um determinado momento temporal e numa determinada zona geográfica, a probabilidade de ocorrência de falha devido a um evento atmosférico. Este modelo tem por base os resultados obtidos das equações respeitantes aos potenciais de ocorrência, obtidas no capítulo 6, e as falhas que efectivamente se verificaram ao longo do ano de 2010, registo este obtido com base na lista de falhas de REN.

Capítulo 2

A Problemática da Fiabilidade em Redes de Transporte

2.1 Introdução

De uma forma bastante simplista pode considerar-se que um Sistema Eléctrico de Energia é constituído por três subsistemas:

- Sistema de produção
- Sistema de transporte
- Sistema de distribuição.

Os Sistemas Eléctricos de Energia constituem, na actualidade, um dos pilares bases do funcionamento de todo um conjunto de serviços e infra-estruturas que têm no uso da electricidade uma forte dependência. Constituída nos dias de hoje por diversos elementos que na sua função conjunta realizam um conjunto vasto de operações com vista ao fornecimento de energia eléctrica, a Rede Eléctrica de Energia assume uma importância tal que se tornou um dos pilares de todo um desenvolvimento sócio-económico da sociedade que nos rodeia e na qual estamos inseridos.

Por sua vez, o Sistema de Transporte de Energia Eléctrica, componente indispensável de um Sistema Eléctrico de Energia, constitui um dos patamares fundamentais de todo um serviço que envolve a Produção, Transporte e Distribuição de energia eléctrica em todo o território nacional, sendo responsável pelo transporte da energia desde os centros produtores até aos diversos pontos de carga dispersos ao longo do território nacional. É sobre a fiabilidade deste subsistema, ou mais concretamente, sobre a previsão da fiabilidade dele, que se caracteriza esta dissertação.

Tem sido notável todo o investimento realizado pelas entidades produtoras e distribuidoras de energia eléctrica a todos os níveis da Rede Eléctrica de Energia, quer seja em novos equipamentos quer seja na substituição de componentes já numa fase bastantes desgastados ou até mesmo na introdução de novos equipamentos dotados de inteligência artificial, sempre com vista a um contínuo aumento da qualidade de serviço e a uma diminuição da taxa de interrupção do fornecimento de energia.

Apesar de todos os avanços feitos no campo da fiabilidade e da qualidade de serviço, comprovada com a melhoria que se vem verificando ao longo dos anos nos índices de fiabilidade, as situações de avaria e consequente interrupção de serviço continuam a ocorrer por vários e diversificados motivos, sendo que os eventos de origem atmosférica constituem uma significativa parte destas causas e é com base neste tipo de eventos associados a elementos geográficos e atmosféricos presentes no território português que se pretende realizar uma análise de fiabilidade das linhas da Rede Nacional de Transporte.

Esta caracterização é realizada tendo por base o conhecimento das falhas existentes, falhas essas que podem acontecer ao nível das linhas, subestações ou outros equipamentos pertencentes à rede de transporte! Apesar deste conjunto de falhas, o modelo aqui tratado abrange só as linhas de transporte devido ao facto de constituírem falhas possíveis de serem previstas com recurso à modelização geográfica e atmosférica. De referir que, como o modelo de previsão assenta no uso do histórico de falhas ocorridas durante um ano, e como as mesmas não se registam em número suficiente elevado, há uma maior dificuldade na modelização o mais correcta possível da ocorrência de falhas.

2.2 A Influência Geográfica

Esta análise de fiabilidade das linhas presentes na Rede Nacional de Transporte leva em conta a dispersão geográfica das mesmas ao longo do território português aliada a todo um conjunto de eventos atmosféricos e geográficos que, de uma forma directa ou indirecta, têm significativa influência na ocorrência de falhas no Sistema de Transporte de Energia Eléctrica.

O desenvolvimento do modelo que se apresenta assenta, entre outros eventos, numa desagregação geográfica, realizada ao nível distrital. Esta divisão é justificada devido à grande variação geográfica que se faz sentir ao nível de fenómenos como os eventos atmosféricos. Parâmetros como a temperatura ou a precipitação divergem significativamente de uns distritos para outros. Para além, existem acontecimentos como os incêndios, também eles causadores de falhas nas linhas de transporte, que têm uma determinada preponderância para ocorrer em determinado período do ano, e com maior incidência em determinados distritos em relação a outros.

Todos estes eventos atmosféricos e incidentes ambientais são modelizados tendo em conta a variação anual e geográfica dos factores atmosféricos e as características individuais de cada distrito, como são exemplo, a percentagem de vegetação existente ou a densidade de linhas de transporte.

2.3 A Influência Meteorológica

A Rede Nacional de Energia, sendo na sua maioria constituída por linhas aéreas, está exposta a uma grande variedade de condições meteorológicas. Desde as temperaturas elevadas no período de Verão até à maior taxa de precipitação que se faz sentir no período de Inverno, passando pelas descargas atmosféricas, são muitas as variações meteorológicas que podem ser presenciadas. Ao longo do ano, os factores meteorológicos têm grandes variações consoante a época do ano em estudo. Devido a estas variações, as linhas de transporte estão sujeitas a grandes variações no ambiente que as rodeia originado que as mesmas experienciem diferentes eventos de índole atmosférico consoante o momento temporal em questão. É necessário levar também em conta que a rede de transporte de energia, dada a sua difusão geográfica, não está sujeita em toda a sua área de actuação às mesmas condições atmosféricas. Esta influência meteorológica, aliada a uma divisão geográfica, é uma das bases que estão por detrás do modelo de previsão de fiabilidade que aqui é desenvolvido.

Contudo, é na variação da meteorologia que reside também alguma dificuldade sentida, nomeadamente no seu tratamento, muito devido à não uniformidade dos eventos atmosféricos e à ausência de dados exactos que permitam a representação da evolução ou variação desses mesmos eventos de forma exacta.

2.4 Diferentes Abordagens

A fiabilidade das redes eléctricas de energia é um problema que tem vindo a ser objecto de um grande e diversificado número de abordagens que diferem em relação a vários factores e objectivos. Este facto é confirmado através da análise da literatura disponível que reflecte a importância que esta área de investigação, associada ao desenvolvimento de novas técnicas associadas à temática da fiabilidade, tem vindo a assumir.

Contudo, não existem em grande número trabalhos desenvolvidos que tenham como suporte o tema da fiabilidade aliada a um carácter geográfico e aplicado aos sistemas de transporte de energia. A maioria dos trabalhos que se podem encontrar na literatura disponível e nas bases várias bases bibliográficas disponíveis online ou se focam em problemas relacionados com a fiabilidade, quer aplicados a redes de distribuição quer aplicados à rede de transporte de energia levando em conta factores e eventos atmosféricos, mas sem interferência de elementos de carácter geográfico, ou se inclinam para a demonstração de soluções para problemas de fiabilidade e planeamento envolvendo características geográficas, mas aplicados somente a redes de distribuição.

As diferentes abordagens diferem no conteúdo e nos objectivos. Numa retrospectiva histórica, constata-se que as primeiras abordagens apresentam metodologias em que são desenvolvidos modelos de estados atmosféricos para análise das consequências dos eventos atmosféricos considerados adversos ao nível da fiabilidade. Posteriormente ao início do desenvolvimento deste tipo de artigos, surgiram os trabalhos onde o tema da disposição geográfica já era levado em conta, embora a maioria destes trabalhos eram aplicados ao sector do planeamento e das redes de distribuição.

2.4.1. Análise de interrupções e desagregação de causas

Uma análise do artigo “*An Analysis of Extreme-Weather-Related Transmission Line Outages*”, [1], revela-nos a importância que tem a relação entre a localização geográfica das linhas de transporte e a respectiva frequência de avarias. Se levarmos em conta que condições meteorológicas extremas constituem uma das principais causas para avarias que ocorrem no sistema de transporte e que estes mesmos acontecimentos atmosféricos estão dependentes da localização geográfica das linhas, obtemos um correlacionamento entre os eventos meteorológicos e a dispersão geográfica de todas as linhas que constituem a rede de transporte sendo esta relação o ponto de partida para toda uma análise do grau de fiabilidade do sistema de transporte aliado a um carácter geográfico.

No mesmo artigo, baseado numa análise da frequência e dispersão geográfica das ocorrências de avarias na região do Alberta, Canada, o autor definiu que, eventos atmosféricos como a chuva, vento, precipitação e descargas atmosféricas, dada a sua frequência de ocorrência e predisposição para se tornarem a origem de avarias nas linhas de transporte, são considerados como eventos atmosféricos adversos. Como conclusão do seu trabalho, o autor afirma ainda que as saídas de serviço devidas aos eventos meteorológicos atrás referidos constituem cerca de 33% do conjunto de todas as falhas averiguadas no sistema de transporte.

Em relação ao trabalho aqui desenvolvido, no que diz respeito aos factores meteorológicos levados em conta para além dos já referidos no parágrafo anterior que, dado todo o historial de falhas do sistema de transporte de um qualquer país são já causas comprovadas, foram também considerados outro conjunto de eventos, considerados também eles, causas propícias para a ocorrência de falhas, quer seja de uma forma directa, quer seja de uma forma indirecta, isto é, quando conjugados com outros eventos. Um bom exemplo de uma possível junção de eventos, que tem tanto de realizável como de desastrosa é a ocorrência de um incêndio numa dada zona onde coexiste, ao mesmo tempo, níveis elevados de velocidade de vento, que origina a propagação do incêndio aumentando a probabilidade do mesmo atingir locais onde se encontram instaladas linhas de transporte, aumentando a probabilidade de uma eventual falha numa linha, e consequente saída de serviço.

2.4.2. Inclusão de sistemas de informação geográfica

O artigo [2] demonstra, para uma parcela da Rede de Distribuição da Eslovénia, uma possível junção de software de análise de redes de distribuição de energia com uma aplicação GIS (*Geographic Information System*). O software é constituído por diversos algoritmos para análise de planeamento de redes de distribuição, diversos módulos para cálculos mais avançados para análise de fiabilidade, análise de cenários de operação, cenários de optimização para a configuração ideal para a rede de distribuição para situações de defeito ou reposição de serviço, que em parceria com a aplicação GIS apresentada neste artigo, permite a criação de uma interface para visualização da parcela da rede de distribuição em análise, tendo como objectivo apresentar geograficamente a informação, transmitida em tempo real por sistemas SCADA, que caracteriza o estado actual de operação do sistema.

Para além do artigo referido anteriormente, o artigo [3] desenvolvido e aplicado na Cidade de Beijing, China demonstra, mais uma vez, uma solução para a integração de aplicações de informação geográfica em sistemas DMS (Distribution Management System) que se ocupam pela gestão da exploração de redes de distribuição que satisfaz a necessidade da troca de informação de carácter geográfico em tempo real e a disposição de uma maior quantidade de informação relevante para a operação do sistema. As razões apresentadas pelos autores prendem-se com o facto de que, através do intercâmbio e partilha da informação entre ambas as partes, resulta daqui uma diminuição do nível de trabalho até então necessário para a transmissão e manutenção da informação, para além de que a junção de DMS com aplicações GIS fornece informação geográfica que conjugada com a informação que advém dos sistemas DMS permite a uma melhor análise dos possíveis cenários de exploração bem como a visualização geográfica da operação em tempo real.

Os artigos [4], [5], [6], [7], são mais uma vez artigos em que o GIS é aplicado a redes de distribuição com vista a uma melhor performance de planeamento e exploração. No primeiro temos a aplicação de material de carácter geográfico na análise, através da programação dinâmica, da melhor topologia da rede de distribuição tendo em conta a localização geográfica de subestações e pontos de consumo. Já em [5] e em [6], o objectivo da aplicação é em tudo semelhante apenas diferindo no facto de haver diferentes metodologias aplicadas em relação ao desenvolvimento dos algoritmos e às variáveis que são levadas em conta, quer respeitantes ao sistema eléctrico de energia em análise quer sejam variáveis que traduzam informação de carácter geográfico. No caso do artigo [7], é demonstrado uma possibilidade de junção da informação caracterizadora da fiabilidade dos equipamentos ao nível da rede de distribuição, nomeadamente, a taxa de avaria e o tempo de reparação médio, com o mapa digital de uma dada zona geográfica com o objectivo de, com base nas chamadas telefónicas e outras formas de denunciar problemas relacionados com falhas eléctricas, agregar a informação e proceder à localização do local onde é mais provável que tenha ocorrido a falha. De uma forma sucinta, os autores demonstram esta operação sobrepondo os mapas digitais das várias estruturas da zona em análise, nomeadamente, edifícios, estradas, parques públicos, entre outros, com o mapa da rede de distribuição da mesma zona, a partir do qual obtêm um mapa resultante, onde indicam os locais de onde provêm queixas devidas a falha eléctrica e procedem ao cálculo do ponto ou equipamento mais provável de estar na origem da falha.

2.4.3. Inclusão de sistemas de informação geográfica

Todos estes trabalhos sucintamente apresentados demonstram desenvolvimentos e aplicações efectuados ao nível das redes de distribuição e/ou DMS (Distribution Management System) para os quais, de uma forma mais ou menos objectiva, procurou-se envolver os Sistemas de Informação Geográficos, mais concretamente, a informação que deles é possível retirar e analisar de forma a melhorar uma dada área adjudicada às redes de distribuição, seja ela o planeamento de redes ou a localização de falhas ocorridas.

Para além deste grupo de trabalhos em que o objectivo assenta fundamentalmente nas mesmas bases de funcionamento, encontram-se também, como já fora dito atrás, alguns

trabalhos desenvolvidos na área da fiabilidade aplicada às redes de transmissão em que se levados em conta a influência de eventos atmosféricos. Ao contrário dos artigos descritos anteriormente, nestes casos não há qualquer envolvimento de informação de carácter geográfico, sendo apenas analisadas as consequências que advêm do cruzamento de estados atmosféricos adversos com locais onde se localizam linhas de transporte de energia.

Temos, por exemplo, em [8], desenvolvido por *M. R. Bhuiyan* e *Prof. R. N. Allan* em 1994, aquele que será o artigo que mais se aproxima do trabalho aqui apresentado. Nele, os autores apresentam um modelo de análise de fiabilidade em linhas de transporte de energia que, para além de levar em conta a influência de eventos atmosféricos adversos, utiliza o Método de Monte Carlo cronológico com o objectivo de introduzir a evolução dos estados atmosféricos que, na sua maioria dos casos ou mesmo em todos, não são estacionários.

Os autores fazem uso do Modelo de Markov, que na maioria dos trabalhos desenvolvidos até então, se apresenta com o modelo de dois ou três estados atmosféricos, nomeadamente, tempo normal e tempo adverso e, em alguns casos, a inclusão do terceiro estado denominado tempo extremamente adverso, no qual os autores introduzem algumas alterações, nomeadamente o aumento do número de estados atmosféricos criando diversos estados atmosféricos considerados adversos mas com diferentes graus de severidade. A razão apresentada pelos autores para este aumento no número de estados e, consequentemente, da complexidade da análise do problema, assenta no facto de considerarem que a utilização do modelo de Markov de dois ou três estados atmosféricos não leva em conta a variação do grau de impacto de um dado evento atmosférico considerado adverso, ou seja, todos os eventos atmosféricos são considerados como estando num mesmo nível de severidade o que na prática não é verdade, para além de também não incluir a movimentação geográfica do mesmo evento atmosférico que, como é sabido, está implícito na ocorrência e evolução desse mesmo evento. Na prática, a utilização do Modelo de Markov de dois estados atmosféricos origina uma análise de fiabilidade em que toda a rede de transporte é assumida como residindo num mesmo estado atmosférico, o que dada a sua elevada expansão geográfica não representa a realidade.

Os autores procederam então à realização de uma divisão geográfica do território em estudo acrescido de uma divisão de cada uma das linhas em parcelas sendo que cada parcela corresponde ao troço inserido em cada região e posterior modelização dos eventos atmosféricos com os seus diferentes graus de severidade e acrescidos de movimentação geográfica. As imagens a seguir apresentadas, extraídas do mesmo artigo reflectem a ideia dos autores na divisão geográfica em questão.

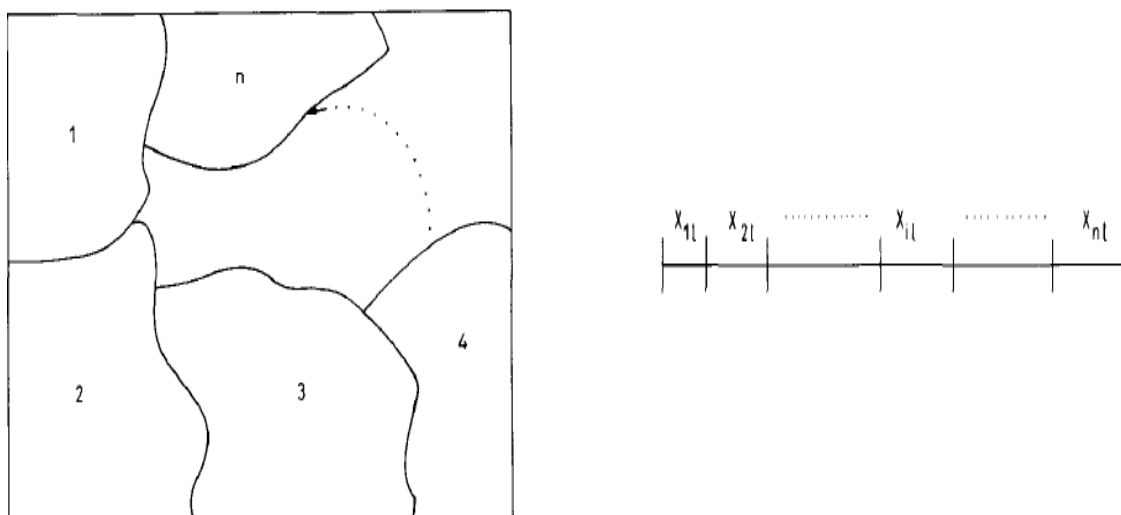


Figura 2.1 - Divisão geográfica de zona e de linha [8]

De uma forma mais simplista, em [9] e [10], é possível ver a aplicação do Modelo de Markov na análise da fiabilidade em redes de distribuição mas levando em conta três estados atmosféricos, a saber, tempo normal, tempo adverso e tempo extremamente adverso. Este tipo de análise apesar de não estar no âmbito do tema desta dissertação é um exemplo da aplicação do Modelo de Markov a redes de distribuição, em que dada a sua reduzida expansão geográfica, torna-se mais realista a aplicação de um modelo deste género em que os estados atmosféricos são considerados como estacionários, quer na sua grandeza quer na sua localização, situação esta que difere da realidade que está envolta das redes de transporte.

Capítulo 3

Análise de Falhas da RNT

3.1. Introdução

No âmbito do tema deste trabalho, “*Previsão Geográfica de Fiabilidade em Linhas da RNT*”, com vista à construção de um modelo de previsão geográfica, é fundamental, em primeira instância, dispor de um registo de todas as falhas ocorridas durante um dado intervalo de tempo com a discriminação dos motivos que estiveram na origem dessas mesmas falhas bem como a identificação do troço ou localização geográfica em que ocorrem. É este histórico de ocorrências e a sua análise que estará na base de todo o trabalho que aqui é apresentado. Por esta razão foi requisitado à REN, o registo de todas as ocorrências verificadas durante todo o ano de 2010 bem como as respectivas causas.

3.2. Análise numérica de falhas

Com base na informação descrita no artigo [1], uma primeira análise à lista de ocorrências de falhas durante o ano de 2010 fornecida pela REN pode ser realizada com vista a uma avaliação numérica das ocorrências com origem em eventos atmosféricos e/ou geográficos. Analisando a tabela das falhas, são contabilizadas 839 ocorrências, sendo que cada uma destas ocorrências são devidas ao acontecimento de uma dada falha num determinado troço da rede que implicou o corte manual ou o disparo automático dos disjuntores presentes nesse mesmo troço.

Apesar disso, na prática, o numero de ocorrências é ligeiramente inferior devido às situações de “duplo registo”, ou seja, à ocorrência de dois disparos para um mesmo ponto da rede de transporte, espaçados de poucos segundos. A explicação para tal acontecimento obriga-nos a fugir um pouco ao âmbito do tema desta dissertação, levando-nos à constituição da Rede Eléctrica Nacional em que, para além da Rede de Transporte, entre outros, estão presentes também os Sistemas de Protecções. Estes têm por objectivo, numa situação de funcionamento anormal em que as grandezas que caracterizam o estado de actividade da

rede assumem valores que estão fora do intervalo dos valores considerados admissíveis para um funcionamento dentro dos limites de segurança, como por exemplo, a tensão de funcionamento num dado barramento estar abaixo do limite mínimo tolerável ou a intensidade de corrente numa linha acima do normal derivada da existência de um curto-circuito, efectuar o corte/disparo de um ou mais elementos presentes no local em que o defeito se manifesta com vista ao isolamento e eliminação do defeito e à protecção dos equipamentos presentes na zona de ocorrência do defeito. Após o disparo e retirada de serviço do componente onde ocorreu o defeito, os Sistemas de Protecção procedem à religação do elemento, ou seja, à colocação de novo em funcionamento do elemento retirado de serviço. Numa situação em que a causa que originou o defeito persista, a religação desse mesmo elemento, ou elementos, vai originar novo disparo por parte dos equipamentos de protecção havendo nova retirada de serviço do elemento onde ocorre o defeito.

Sendo assim, analisando a tabela de falhas, é possível concluir que das 839 ocorrências registadas, existe um total de 121 falhas que correspondem a este tipo de situação, que não são incluídas no desenvolvimento realizado no âmbito do tema desta dissertação na medida em que se pretende ter um registo de todas as falhas ocorridas, independentemente do motivo que esteve na origem da falha, sem levar em conta situações de “duplo registo de falha”, devido à actuação dos Sistemas de Protecção.

Desta forma, a filtragem da tabela, que conta então com 718 ocorrências, permite-nos observar que, do total de ocorrências, 213 correspondem a falhas ocorridas em linhas de transporte, das quais 169 correspondem a falhas ocorridas por motivos de condições adversas meteorológicas e geográficas. O gráfico a seguir apresentado contabiliza essas mesmas ocorrências diferenciando-as quanto ao motivo que esteve na sua origem.

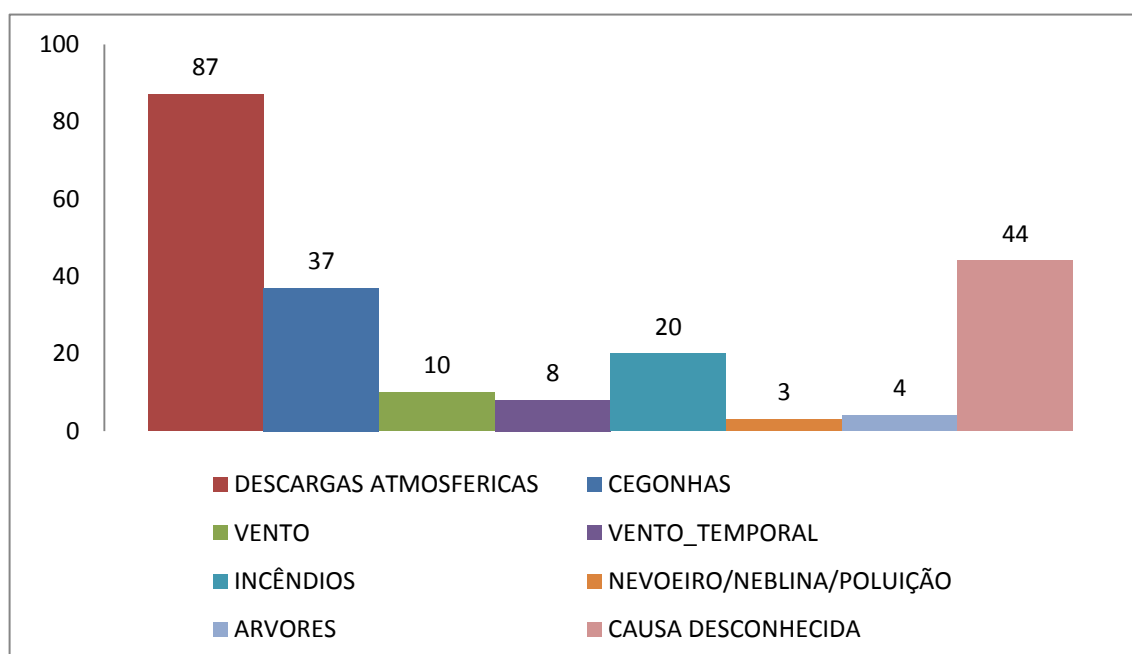


Figura 3.1 - Causas de ocorrências

Analisando o gráfico é fácil concluir que, dentro dos incidentes causados por motivos atmosféricos e/ou geográficos, as descargas atmosféricas constituem uma das principais razões para a sua ocorrência, muito devido às dificuldades existentes na previsão da sua ocorrência e à difícil implementação de equipamentos de protecção capazes de isolar e eliminar este tipo de defeitos. Os incêndios e a presença de cegonhas nas linhas constituem, respectivamente, os segundos e terceiros motivos para a ocorrência de incidentes nas linhas. Em termos numéricos, quando comparamos as falhas devido a condições atmosféricas adversas com todas as causas que, em maioria, constituem os principais motivos de ocorrência de incidentes nas linhas, verificamos que as primeiras correspondem a 20,14 % do total de ocorrências. Este valor denota bem a importância que existe em ter em posse ferramentas e métodos de análise capazes de prever, de uma forma significativa e com alguma antecedência, a possibilidade de ocorrência de um dado evento meteorológico e quais as consequências desse mesmo evento ao nível da fiabilidade da rede. De realçar que este valor não inclui os eventos com causa desconhecida. Se porventura, assumíssemos que esta componente tinha, também ela, origem em fenómenos meteorológicos, então o valor percentual passaria a ser de 25,39 %.

Uma análise relativa ao níveis de tensão revela-nos a distribuição das falhas nas linhas pelos três níveis diferentes de tensão, análise essa traduzida pelo gráfico a seguir apresentado:

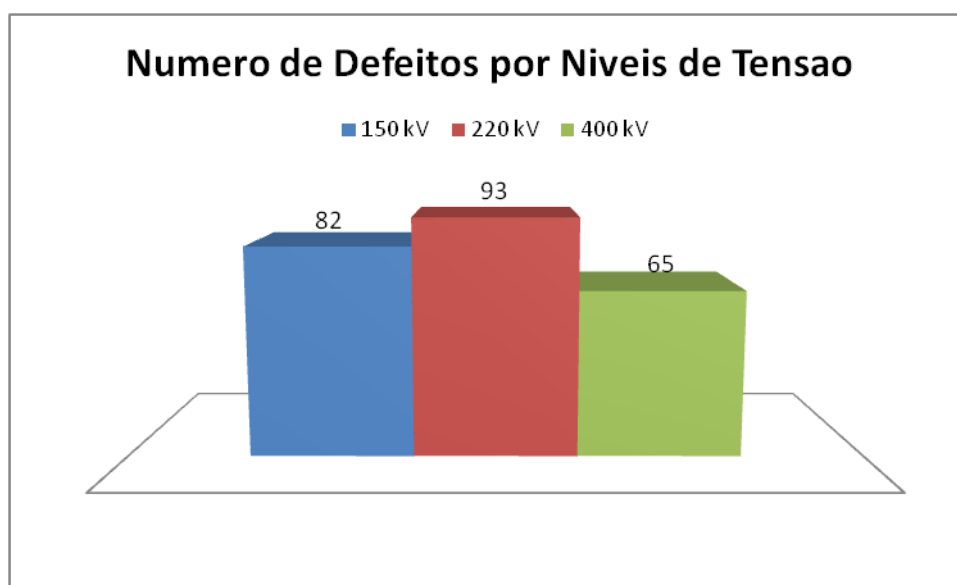


Figura 3.2 - Número de defeitos por nível de tensão

Conforme se pode constatar, as linhas que interligam dois pontos a 220 kV são as linhas onde mais falhas de origem atmosférica e/ou geográfica se verificam contabilizando-se um total de 93 falhas, seguido das linhas de 150 kV com 82 falhas, e por último, temos para as linhas de 400 kV um total de 65 incidentes registados. O número ascendente de falhas desde as linhas de 400 kV até as linhas de 220 kV, passando pelos 150 kV não constitui nenhuma

situação anormal se levarmos em conta que está de acordo com o número igualmente crescente de linhas para cada um dos níveis de tensão presentes no terreno.

O gráfico a seguir apresentado traduz uma análise mais minuciosa em relação a cada uma das causas que estão na origem das diversas falhas que ocorrem na rede de transporte de energia e a sua relação com os diferentes níveis de tensão.

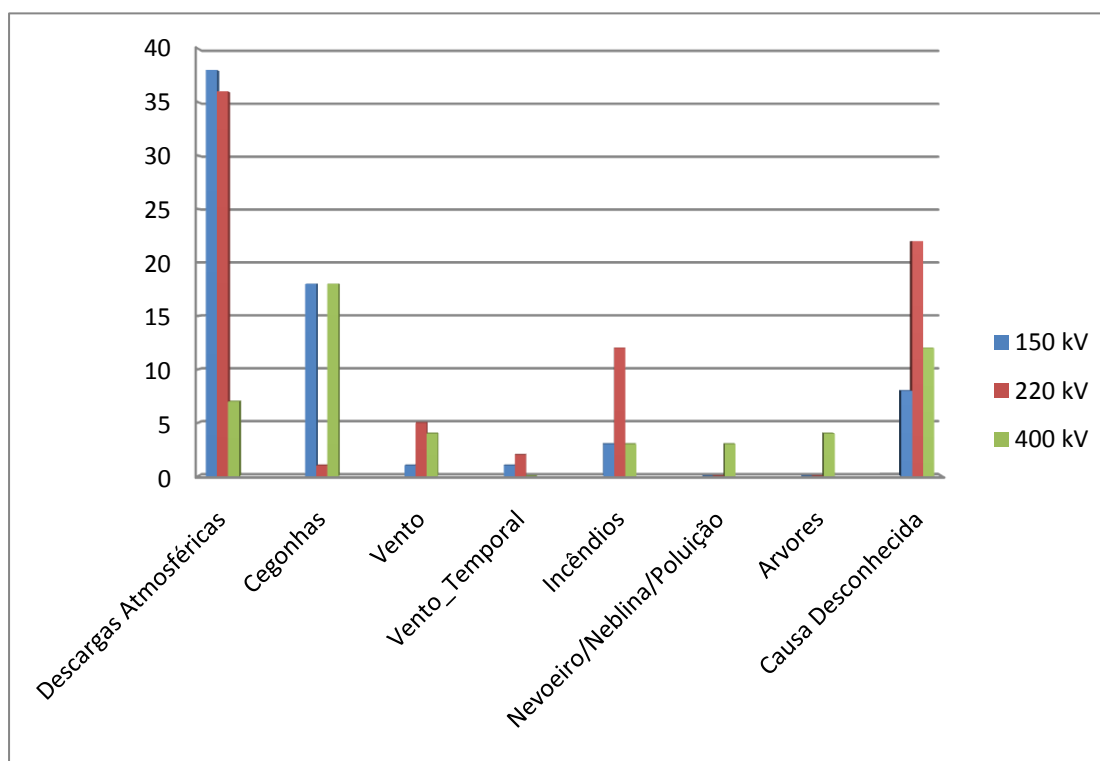


Figura 3.3 - Distribuição de causas de falhas por níveis de tensão

Ao analisarmos o gráfico, podemos retirar quatro conclusões imediatas:

- As descargas atmosféricas constituem, sem dúvida alguma a causa que mais contribui para a ocorrência de incidentes nas linhas da Rede de Transporte com maior incidência nas linhas de 150 kV e 220 kV.
- As cegonhas, segunda maior causa de incidentes em linhas de energia, regista, de acordo com a base de dados de registo de falhas, uma igualdade no número de ocorrências, 18, nos níveis de 150 kV e 400 kV. Para os 220 kV, a sua contribuição é quase nula, averbando apenas um registo durante todo o ano.
- Os incêndios, terceira maior causa, teve, para os 220 kV, um número de registos relativamente superior em comparação aos níveis de 150 kV e 400 kV.
- O vento, que se apresenta aqui como a quarta maior causa de incidentes, tem, tal como os incêndios, um total de ocorrências superior em linhas de 220 kV, 5 ocorrências, acrescido de mais 4 falhas em de 400 kV e 1 falha para os 150 kV.

As restantes causas, presença de árvores, ocorrência de temporais, nevoeiro e poluição, contabilizam-se em menor número por isso a distribuição da sua ocorrência nas várias linhas é

de difícil análise dado o seu reduzido número de ocorrências durante todo o ano de 2010, embora, seja contudo possível afirmar que, por inspecção do gráfico que os incidentes provocados por nevoeiro, poluição e presença e/ou queda de árvores ocorreram todos, durante o ano de 2010, somente em linhas de 400 kV.

Uma análise mais generalizada permite-nos observar que, este registo global distancia-se significativamente do cenário global de distribuição dos diversos tipos de linha ao longo de toda a Rede de Transporte, ou seja, de acordo com os dados presentes no site da REN, existem actualmente, 234 linhas de transporte de energia, das quais, 78 pertencem ao nível dos 150 kV, 105 ao nível dos 220 kV e 51 ao nível dos 400 kV. Com esta distribuição, temos então que, de acordo com as leis da proporcionalidade, deveria existir, para cada uma das causas, um maior número de incidentes nas linhas de 220 kV, seguido das linhas de 150 kV e, por último, as linhas de 400 kV a registarem menor número de incidentes. Não é, contudo, o que se verifica pois apenas os incidentes ocorridos devido à existência de incêndios ou incidentes cuja causa é desconhecida seguem este panorama, os restantes têm comportamentos diferentes deste cenário e, inclusive, diferentes de uns para outros, tal como se pode verificar no gráfico observando as colunas referentes às descargas atmosféricas e às cegonhas. A razão prende-se essencialmente, tal como será descrito em capítulos posteriores, com a dispersão geográfica das causas que estão na origem das falhas. Mais concretamente, temos por exemplo, o caso das falhas que devido ao contacto de cegonhas com as linhas em que a presença de cegonhas no território português não é uniforme, bem pelo contrário, há determinadas zonas em que existe uma maior concentração deste tipo de aves o que aumenta, inevitavelmente, a probabilidade de colisões destas com as linhas, situação que é independente do nível de tensão das linhas existentes nessa mesma zona.

Por último e talvez mais importante, uma análise englobando os três níveis de tensão e o total de incidentes que ocorreram somente em linhas da Rede de Transporte, mostra-nos que a maioria destes incidentes são de origem atmosférica e/ou geográfica conforme se pode verificar no gráfico a seguir demonstrado:

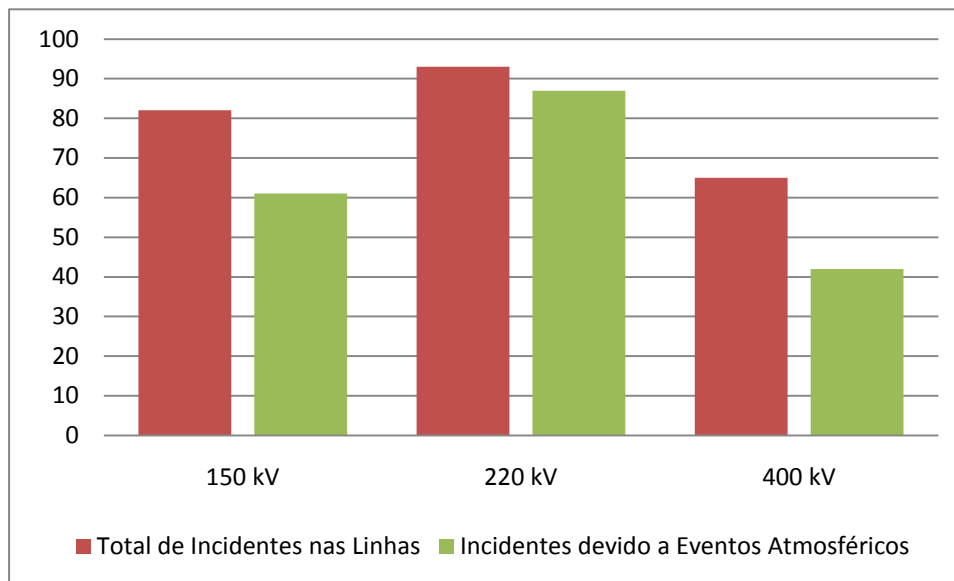


Figura 3.4 - Incidentes nas linhas versus Incidentes atmosféricos

É possível verificar que, a maioria dos incidentes que ocorrem nas linhas têm como origem causas atmosféricas, independentemente do nível de tensão. De realçar que nas linhas de 220 kV, a fracção correspondente aos incidentes de causa atmosférica aproximam-se muito do total dos incidentes verificados para esse mesmo nível de tensão.

É com base nesta análise e nestes resultados que o trabalho desenvolvido nesta dissertação assume grande importância e relevância, pois o modelo matemático que se pretende desenvolver e apresentar pretende fornecer um modo de previsão das consequências ao nível da fiabilidade que advêm deste tipo de eventos, que, por sua vez ocorrem de uma forma dispersa e desigual por todo o território de Portugal. Por outras palavras, proporcionar a possibilidade de averiguar o grau de ocorrência de falha numa dada zona geográfica, à qual está associada a ocorrência, num intervalo de tempo próximo, de um dado evento de carácter atmosférico para que possam ser tomadas precauções, na medida em que, na eventual perda de um troço da rede, não tenha como consequência o não fornecimento de energia aos consumidores, ou seja, para que a continuidade de serviço seja mantida.

Capítulo 4

Pesquisa e Tratamento de Dados

4.1. Introdução

Todo o trabalho aqui desenvolvido implica a pesquisa, análise e tratamento de um conjunto vasto de informação relativa aos fenómenos atmosféricos que estão na base da ocorrência dos incidentes na Rede de Transporte registados durante o ano de 2010. Uma vez que, no modelo matemático que aqui se apresenta, em que se pretende que o mesmo seja capaz de analisar, com a maior previsão possível, o grau de fiabilidade de uma dada zona geográfica, ao utilizarmos uma base de dados com todos os registos de falhas ocorridas em 2010, é de todo crucial e de grande relevância, que toda a restante informação, sempre que necessária e possível, remonte ao mesmo período. Este facto é de grande importância, pois o cruzamento de dados relativos a diferentes grupos de informação que se pretende realizar ganha maior coesão quando todos os dados são relativos ao mesmo período, ou por outras palavras, ao mesmo intervalo de tempo.

De acordo com a análise efectuada no capítulo anterior, são identificáveis sete causas que, com maior ou menor incidência, estão na origem de falhas nas linhas da Rede de Transporte:

- Descargas Atmosféricas
- Cegonhas
- Vento
- Vento - Temporal
- Incêndios
- Nevoeiro/Neblina/Poluição
- Árvores

Na análise efectuada no capítulo anterior podemos verificar que há determinadas causas que ocorrem com uma maior frequência do que outras. Sendo o objectivo deste trabalho a construção de um modelo matemático de previsão de fiabilidade da rede de transporte, levando em conta, entre diversos factores, a dispersão geográfica das falhas ocorridas, é fácil concluir que um maior número de vezes em que uma causa está na origem de várias falhas permite obter uma maior dispersão de pontos ao longo de todo o território onde essas falhas ocorreram.

Tendo em conta esta necessidade, as falhas que ocorreram devido à queda ou contacto com árvores ou devido a neblina e poluição, como se quantificam em número residual não

serão alvo do modelo aqui desenvolvido. Para além disso, não há um interesse relevante em desenvolver um modelo que se baseie em ocorrências esporádicas.

Para além disto, na tabela de falhas cedida pela REN, estão contabilizadas dez falhas cujo motivo associado é o vento, e oito falhas em que o motivo é, segundo palavras transcritas da própria tabela, “*Temporal - vento de intensidade excepcional*”. No âmbito deste trabalho, dado o interesse em obter o maior número de pontos geográficos possíveis para as falhas registados para um mesmo motivo, estas duas causas, dada a sua similaridade, foram associadas numa só, “Vento”.

Por este motivo, serão então utilizados neste trabalho, modelizações matemáticas que têm por base as seguintes causas:

- Incêndios
- Cegonhas
- Descargas atmosféricas
- Vento

As páginas seguintes explicam toda a pesquisa efectuada e o tratamento de dados a que foram sujeitos todos os conjuntos de dados.

4.2. Incêndios

4.2.1. Introdução

As características mediterrânicas do nosso clima, com Invernos chuvosos favoráveis ao desenvolvimento da vegetação e Verões quentes e secos facilitando a sua combustão, fazem com que o território português seja particularmente susceptível à ocorrência de incêndios.

Os incêndios florestais registados em Portugal têm-se traduzido em impactes altamente negativos a níveis ambientais, económicos e sociais. Embora os prejuízos materiais directos sejam de relativamente fácil quantificação após a ocorrência do incêndio, perduram sempre outras consequências, que a médio e longo prazo se fazem sentir. Os incêndios são causadores da destruição de “*habitats*” de variadas espécies, diminuição da área florestal e de altas emissões de CO₂, efeitos que prevalecem muito tempo para além da extinção dos incêndios. Mas são os efeitos sentidos no momento da ocorrência do incêndio que são aqui focados, efeitos esses sentidos pelas linhas eléctricas de transporte de energia que, numa situação de cruzamento com um incêndio, provoca a saída de serviço da linha, não obstante a possibilidade de destruição de uma parte do troço da linha.

Os incêndios florestais ocorrem principalmente na época de Verão e as suas origens podem agrupar-se em três grandes grupos: Causas Naturais, Causas Humanas e Causas Indeterminadas.

A causa natural mais importante no território onde se enquadra Portugal é a descarga atmosférica, principalmente, as “trovoadas secas”. Presume-se que este fenómeno origine entre 1% a 5% dos incêndios registados. [12]

As causas humanas, estão na origem das principais causas dos incêndios florestais, estas dividindo-se em causas involuntárias e voluntárias. No caso das primeiras, incluem-se as

ignições de incêndios com origem em linhas de distribuição de energia eléctrica que atravessam florestas, acidentes e depósitos de lixo (resíduos sólidos). Como causas voluntárias temos, essencialmente, fogos ateados ilicitamente e queimadas.

O motivo pelo qual um incêndio despoleta é indiferente para o desenvolvimento do trabalho aqui apresentado, mas a grande divergência que se verifica entre os motivos que possam constituir causas da ocorrência de incêndios e, mais importante ainda, o grau de imprevisibilidade associado a este tipo de eventos realça ainda mais a importância que tem possuir um registo das ocorrências verificadas em 2010 para que todo o cruzamento de dados que venha a ser realizado no decorrer deste trabalho seja o mais fiável possível. Desta forma, todo o conjunto de dados que seguidamente são apresentados pode ser consultado livremente no “Relatório Final de Áreas Ardidas e Ocorrências”, [11] referente ao ano de 2010, publicado no website da “Autoridade Florestal Nacional”, na secção de “Fogos” [12].

No relatório acima referido são apresentados os resultados das ocorrências de incêndios registadas durante todo o ano de 2010, contabilizando o número total de incêndios ocorridos durante o ano, a distribuição mensal das áreas ardidas em cada mês, uma análise distrital, ou seja, o número de incêndios ocorridos em cada distrito e ainda uma listagem dos grandes incêndios ocorridos. No âmbito do trabalho que se pretende desenvolver, no qual se pretende um cruzamento de informação relacionada com incidentes nas linhas derivados da ocorrência de incêndios retirada da tabela de registo de falhas na Rede de Transporte com o registo das ocorrências de incêndios, torna-se crucial obter uma tabela onde estejam discriminadas os registos de incêndios por data e local de ocorrência e, tal informação está presente na lista dos grandes incêndios presente no relatório referido. De realçar que, quando se refere aos grandes incêndios, em termos práticos, aos incêndios em que a área ardida é igual ou superior a 100 hectares. Para além do facto de ser esta a lista que possui a informação pretendida, também não estamos interessados no registo de todas as ocorrências, pois para além de não possuírem uma referência temporal, inclui um grupo característico de incêndios, denominados de fogachos cuja área ardida é inferior a 1 hectare, e como tal, não pode ser considerado como uma possível causa para a ocorrência de falhas nas linhas da Rede de Transporte.

No gráfico a seguir apresentado é possível observar a distribuição do número de ocorrências de incêndios ao longo dos meses do ano. A ausência de registo de ocorrências ao longo da maioria do ano e o elevado número de registos presentes no mês de Agosto é explicado pelo facto de o gráfico ser construído com base na listagem dos maiores incêndios, superiores a 100 hectares, e como tal, não se verificam incêndios de grandes proporções durante a maioria dos meses do ano.

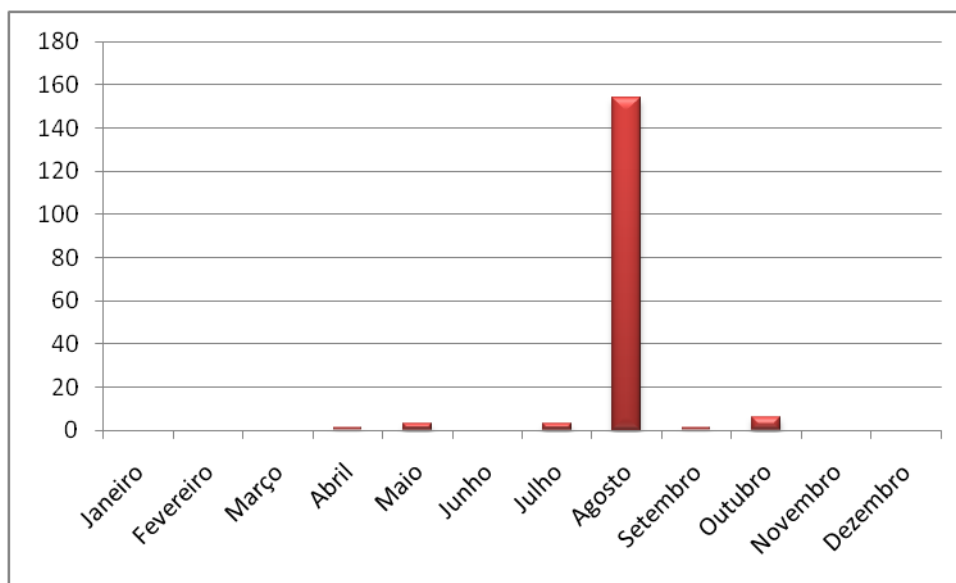


Figura 4.1 - Distribuição de ocorrências

Analisando então o gráfico, é de fácil conclusão que, qualquer que seja a falha ocorrida numa determinada linha eléctrica, a probabilidade de um incêndio estar na origem dessa mesma falha assume uma maior probabilidade se a data da falha em questão for na época de Verão, essencialmente, no mês de Agosto. Mas a questão temporal não deve ser analisada independentemente pois o local de inspecção de uma falha interfere significativamente aquando da atribuição de um incêndio como causa dessa mesma falha numa linha eléctrica. A explicação para tal facto é de fácil compreensão pois, o desencadear de um incêndio e posterior deflagração está dependente de um conjunto de condições atmosféricas e geográficas tais como, o tipo e quantidade de vegetação presente no local, das condições atmosféricas que se verificam no momento da deflagração do incêndio, por exemplo, temperatura e vento, sendo este último, um óptimo aliado de um incêndio, e do número e proximidade dos recursos humanos da região em questão, entre outros.

De referir que a ausência de ocorrência durante o mês de Junho e Julho é, em certa parte, explicada pelo facto de Junho ser oficialmente, por parte das Corporações de Bombeiros, o mês de início ao combate e prevenção dos incêndios florestais daí que, uma maior preparação e dedicação por parte das Corporações reflecte-se numa diminuição bastante significativa no número de ocorrências, embora isto não invalide a existência de um elevado número de incêndios durante o mês de Agosto.

4.2.2. Análise Geográfica

No âmbito do trabalho que aqui é apresentado, o passo seguinte a realizar com a informação relativa ao registo de incêndios passa por uma divisão distrital das ocorrências dos incêndios de grande porte ao longo de todo o Continente.

No gráfico a seguir apresentado, podemos ver essa mesma distribuição sendo observável que são os distritos de Viana do Castelo, Vila Real e Viseu, os distritos que maior número de

ocorrências registaram, seguidos pelos distritos de Braga e Guarda. De uma forma geral, é possível afirmar que é na região Norte e Centro do país, nos distritos interiores, que mais incêndios de deflagram.

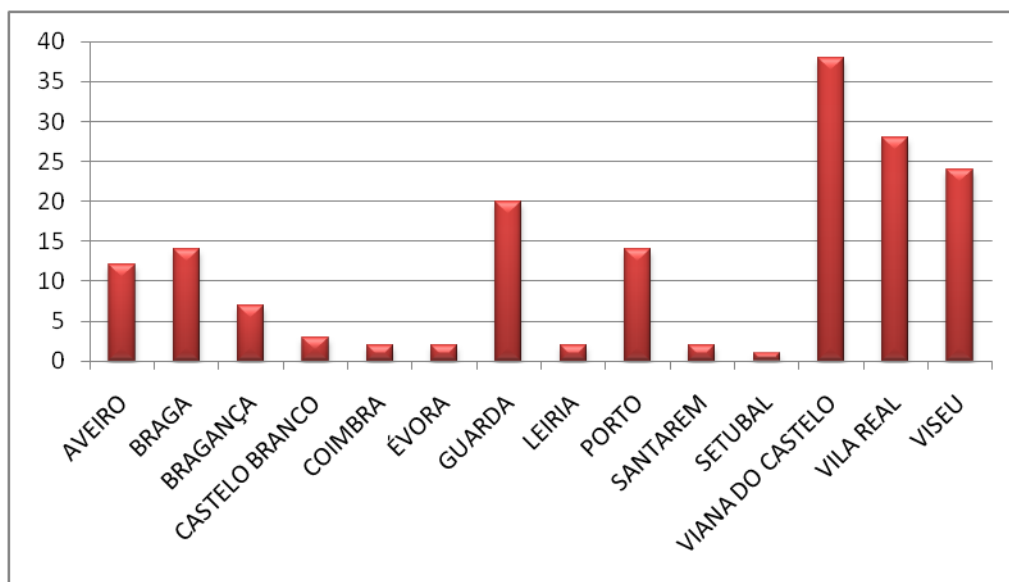


Figura 4.2 - Distribuição geográfica dos incêndios

Como já fora dito, o gráfico apresentado demonstra a distribuição distrital dos incêndios com uma área ardida superior a 100 hectares. No mesmo relatório anual de onde foi recolhida a informação para a construção do gráfico, está presente também um gráfico onde é possível observar o total numérico de todas as ocorrências, independentemente da área ardida, distribuído por todos os distritos.

Com o intuito de completar a informação detalhada nos parágrafos anteriores e de forma a se poder observar que, na inclusão na contagem de todos os incêndios, independentemente da área ardida, os distritos referidos anteriormente continuam a ser aqueles onde se regista um número significativo de incêndios, a figura a seguir apresentada, extraída do mesmo relatório, representa o gráfico referido no parágrafo anterior.

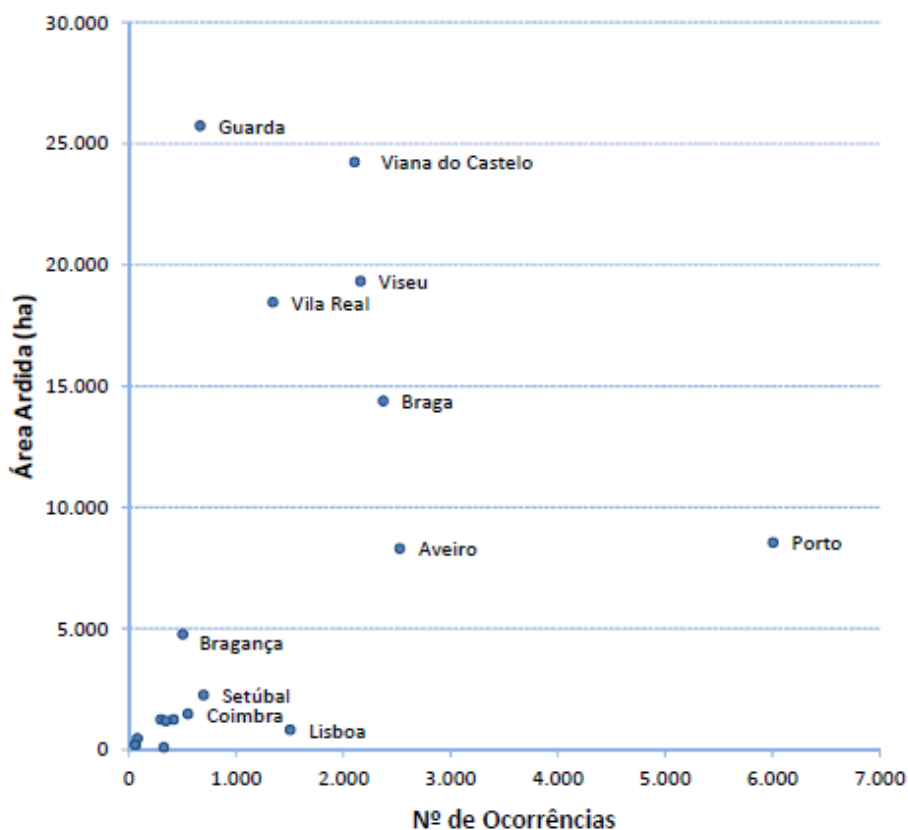


Figura 4.3 - Número de ocorrências total e área ardida por distrito [11]

4.3. Descargas atmosféricas

4.3.1. Introdução

Desde os tempos antigos que as descargas atmosféricas têm sido consideradas como um dos fenómenos mais intrigantes e poderosos da Natureza. O medo que se tinha (e ainda se tem) de sua intensa luminosidade e, principalmente do estrondo que as acompanha fez com que os nossos antepassados, por não conseguirem explicá-las, as associassem a manifestações divinas.

Actualmente, é de senso comum que, as descargas atmosféricas estão intimamente ligadas com a electricidade na atmosfera que, por si só, está associada a nuvens do tipo cúmulo-nimbo, que diferem das habituais nuvens devido à sua maior extensão vertical cuja base está situada a 2 quilómetros de altura do solo enquanto o topo fica 18 quilómetros acima, que geram chuvas fortes, trovões, raios e, ocasionalmente, granizos.

As descargas atmosféricas iniciam-se, quando o ar quente e húmido se eleva num ambiente instável, que dá origem ao nascimento de um raio. Os raios são meramente cargas eléctricas em movimento ordenado, ou seja, uma corrente eléctrica na atmosfera que produz

dois efeitos - o Relâmpago e o Trovão. A iluminação de uma região específica do espaço onde as cargas eléctricas se movimentam é o relâmpago propriamente dito e, o brusco aquecimento do ar nessa região, causando uma onda sonora é denominado de trovão. É importante salientar que, é muito comum aplicar-se os termos trovão e relâmpagos como sendo sinónimos, apesar de estes serem distintos, na medida em que, o trovão é consequência do relâmpago.

Desde outrora que, as descargas atmosféricas são observadas e estudadas e, apesar de todo o avanço tecnológico deste século, o progresso no conhecimento do fenómeno e meios de prevenção ainda são significativamente reduzidos. A acção e efeito do raio causam diversos prejuízos, como são exemplo os incêndios florestais e em prédios, interferências na rádio transmissão, destruição de estruturas e árvores bem como as falhas na rede eléctrica de energia.

As primeiras pesquisas sobre descargas atmosféricas remontam ao século XVIII, quando o estudo da Electricidade se intensificou, em que muitos cientistas, movidos pela curiosidade e pelo desejo de explicar os factos mediante uma experiência, dispuseram-se a investigar os fenómenos eléctricos.

4.3.2. Formação de descargas atmosféricas

As descargas atmosféricas são acontecimentos que ocorrem quando o ar quente e húmido ascende em pouco tempo, e têm como aviso o céu bastante negro (nuvens do tipo cúmulos-nimbos). Apesar da relativa amenidade do nosso clima, este tipo de acontecimento é inevitável e, na maioria das vezes, resulta de súbitas alterações meteorológicas.

No interior das nuvens, bruscas correntes de ar geram fricção entre gotas de água e gelo, o que desencadeia a formação e a aglomeração de electricidade estática. No topo das nuvens acumulam-se as cargas eléctricas positivas e na zona inferior as negativas. Quando a acumulação de cargas negativas atinge um valor elevado, gera-se uma descarga eléctrica sobre a aparência de raios, visíveis como relâmpagos luminosos, dirigidos para a área superior da nuvem ou mesmo para o solo.

Os raios aquecem instantaneamente o ar e o vapor no seu percurso, obrigando-os a uma expansão brusca, seguida de rápido arrefecimento e contracção. Este aquecimento é tal que origina uma violenta explosão, ouvindo-se então o trovão. Como o som e a luz viajam a velocidades diferentes, um observador posicionado a alguma distância da tempestade vê o relâmpago uns segundos antes de ouvir o trovão.

Os raios são sempre atraídos para trajectos de maior condutividade e frequentemente isso implica a passagem através de objectos altos isolados na paisagem, como por exemplo árvores, casas, apoios de linhas ou mesmo pessoas. Podemos dizer, de uma forma sucinta, que para a formação de descargas atmosféricas, é necessário reunir determinadas condições como por exemplo valores elevados da velocidade do vento e valores mais baixos de temperatura. Variáveis como a humidade relativa também têm influência na ocorrência deste tipo de eventos, sendo que todas estas variáveis, devido à sua intervenção nas descargas atmosféricas, serão nos capítulos posteriores utilizadas na modelização das ocorrências de falha devido a esta causa, bem como devido a outras causas também. [13]

4.3.3. Descargas atmosféricas nas linhas

A análise dos efeitos de descargas atmosféricas incidentes em linhas de transporte de energia é de extrema importância para a exploração da rede de transporte.

O efeito das descargas nas linhas de transporte pode ser directo ou indirecto. No que diz respeito aos efeitos indirectos, estes acontecem quando o raio incide próximo da linha. Neste caso, a tensão induzida só produzirá efeitos mais sérios em linhas de transporte de tensão abaixo de 69kV, que é o caso típico de linhas da rede de distribuição. Relativamente às descargas directas são aquelas em que o raio incide directamente na linha de transporte, podendo ocorrer de dois modos: no vão da linha ou no apoio.

No caso de descargas no apoio, há procedimentos de protecção que consistem na colocação de um cabo de guarda acima das fases da linha de transmissão. Este cabo de guarda forma uma protecção, produzindo uma zona protegida na qual a linha de transporte está contida. Quando um raio cai na linha de transporte entre dois apoios, a sobretensão daí resultante divide-se em duas partes que se deslocam com sentidos opostos.

Apesar de todos os estudos até ao momento efectuados, a protecção da rede de transporte de energia face à ocorrência ainda tem alguns avanços para dar, em virtude do número de falhas que ocorrem nesse mesmo sector.

4.4. Cegonhas

4.4.1. Introdução

A presença de cegonhas nas linhas, sendo por si só, um evento com características geográficas pois depende rotina migratória anual deste tipo de ave, constitui a segunda causa para a ocorrência de incidentes nas linhas. Desde muitos anos que as cegonhas têm tido um impacto prejudicial na fiabilidade da Rede de Transporte de Energia.

A presença dos apoios das linhas, para além de constituírem elementos estruturais com elevada altura, está muitas vezes situada em zonas longe de áreas urbanas, em locais remotos, e frequentemente em zonas de vegetação abundante, o que torna este locais propícios para a nidificação de cegonhas. A adesão foi tal que, o número de falhas ocorridas na Rede de Transporte aumentou consoante o número de ninhos se amplificava. De tal forma, que na lista de motivos para as ocorrências de falhas passou a constar “Cegonhas”.

A cegonha mostra uma das silhuetas mais facilmente identificáveis na nossa avifauna sendo uma ave que tem como características uma altura média de 1,2 metros e um comprimento que pode atingir 1,2 metros. A sua alimentação é muito variado baseando-se, essencialmente, em pequenos animais que são capturados vivos sendo que é em terrenos abertos na sua maioria cobertos com vegetação ou zonas de água pouco profunda que procura o seu alimento.

A época de reprodução da cegonha concentra-se entre os meses de Março e Abril sendo também uma espécie de carácter migratório, realizando travessias até ao continente africano em meados de Julho e regressa a Portugal em Dezembro. Segundo dados estatísticos, durante

os anos 80, a sua população diminuiu bastante, apesar de actualmente se verificar uma recuperação. Em 2004, de acordo com o “V Censo Nacional de Cegonha branca”, [14], o número de ninhos ocupados em Portugal era de 7684, num total de 8205 ninhos contabilizados.

A cegonha é comum, sobretudo, na metade sul do país, sendo facilmente observável no Vale do Tejo e Alentejo, em particular, nas zonas do Estuário do Sado, região de Castro Verde, Elvas e Ferreira do Alentejo.

4.4.2. Impacto Geográfico

De acordo com o “*Estudo sobre o Impacto das Linhas Eléctricas de Muita Alta Tensão na Avifauna em Portugal, Dezembro de 2005*”, [15], e também não só as cegonhas constituem uma fonte de problemas para a Rede Nacional de Transporte de energia eléctrica (RNT), como também outras espécies como o sisão, o abibe e a Garça-boieira são aves que muitas vezes também colidem com as linhas de transporte de energia, originando falhas no sistema de transporte.

Apesar da diversidade de aves que colidem com as linhas, no trabalho aqui desenvolvido, será apenas levado em conta na análise das falhas ocorridas a presença de cegonhas. A razão desta opção é fundamentada pelo facto de ser este o tipo de ave que está na origem da maioria das falhas ocorridas devido à presença de aves, o que está de acordo com o seguinte excerto extraído do mesmo relatório enunciado no parágrafo anterior: “*Espécie com o maior número de mortes neste trabalho, com 50 aves por colisão. Em mais de 90% das áreas estudadas ocorreram acidentes envolvendo esta espécie, assumindo especial destaque o Alentejo*”. Para além deste facto, apenas foi possível obter um registo oficial, através de [15], da densidade deste tipo de ave por distrito, densidade essa dada através da contagem do número de ninhos em cada distrito.

Através da informação recolhida, foi possível criar o gráfico a seguir apresentado que traduz a presença, em termos de número de ninhos, de cegonhas em todos os distritos do Continente.

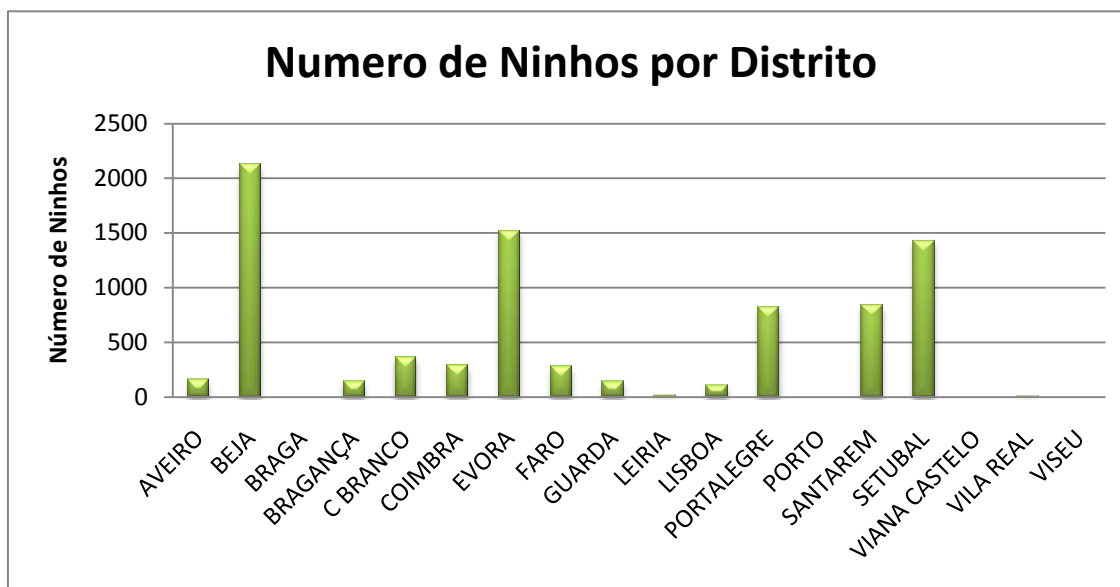


Figura 4.4 - Distribuição do número de ninhos por distritos

Por observação do gráfico, é possível verificar que é na região do Alentejo, nomeadamente, nos distritos de Beja, Évora, Portalegre, Santarém e Setúbal que se concentra a grande parte dos ninhos, mais concretamente, 82,13 % do total de ninhos. De realçar que é também na mesma zona que ocorrem grande parte das falhas na RNT devido à presença de cegonhas.

4.5. Vegetação

Apesar de não ser, por si só, um factor causador de incidentes nas linhas da Rede de Transporte, quando associado a factores como o vento ou a um eventual incêndio que possa estar a ocorrer nas proximidades, a probabilidade de poder vir a causar incidentes aumenta significativamente. Por outras palavras, a existência de vento em zonas onde predomina a vegetação alta faz com que os ramos mais altos, devido à força do vento, embatem nas linhas eléctricas que se localizam nas proximidades provocando curto-circuitos e consequente saída de serviço. Já no caso dos incêndios, é de conhecimento geral, que a presença de vegetação densa numa dada área geográfica promove a proliferação de um dado incêndio aumentando a probabilidade de este vir a ser causador de incidentes nas linhas, para além de todos os aspectos prejudiciais inerentes a um incêndio.

Na área territorial portuguesa, são quatro as espécies de árvores dominantes em Portugal em termos de área ocupada: Pinheiro-Bravo, Sobreiro, Eucalipto e Azinheira. Não vai ser alvo deste trabalho a discriminação das áreas ocupadas por cada um destes tipos de árvores ao longo da área total de Portugal. Preocupamo-nos apenas na contabilização da área total ocupada por todos os tipos de árvores obtendo dessa forma um valor que representa a área total de vegetação que se encontra numa dada zona.

Para a obtenção desse mesmo valor, foi utilizado o software “FloreStat”, [16], que é uma aplicação disponível no website da Autoridade Florestal Nacional, sector pertencente ao Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, para consulta dos

resultados do 5º Inventário Florestal Nacional, publicado em Setembro de 2010, e que permite consultar, em forma de tabelas produzidas em Excel, a área ocupada em cada concelho ou regiões, pelos diversos tipos de árvores dominantes em Portugal, ou a área total ocupada pela vegetação no seu geral.

A figura a seguir apresenta mostra a aplicação em uso, onde se pode verificar, do lado esquerdo, as opções de temas de pesquisa, “Uso/ocupação do solo” é que interessa para este trabalho, e no lado direito, as opções de pesquisa ao nível do território, sendo “Concelhos” a opção pretendida.



Figura 4.5 - Ambiente do software “FloreStat”

A tabela que a seguir se apresenta mostra os resultados que se obtêm para a pesquisa efectuada para o exemplo do concelho de Abrantes, no qual existe uma área de 48 185 hectares de floresta e 5 786 hectares de matos. É a soma destas duas parcelas que nos vai permitir ter um parâmetro, que será utilizado nos capítulos posteriores, que traduza a área total de vegetação existente no concelho de Abrantes.

Tabela 4.1 - Exemplo de resultados obtidos para o Concelho de Abrantes

Concelho	Uso do solo	Área (ha)
Abrantes	floresta	48 185
Abrantes	matos	5 786
Abrantes	águas interiores	1 698
Abrantes	agricultura	13 615
Abrantes	outros usos	2 187

4.6. Variáveis atmosféricas

As variáveis atmosféricas, nomeadamente constituem uma fonte de informação fundamental para todo o trabalho que será desenvolvido nos capítulos posteriores. Mais concretamente, são estas variáveis que vão permitir, consoante a sua modelização, construir os diversos parâmetros e modelos matemáticos que serão necessários para a construção do modelo de previsão geográfico que aqui se apresenta.

Cada uma destas variáveis, devido à sua variação quer geográfica quer temporal, tem uma maior ou menor participação na ocorrência das causas que estão na origem das falhas nas linhas de transporte o que as torna fundamentais como alicerces para que os referidos eventos atmosféricos e incidentes ambientais têm ocorrência, e consequentemente origem falhas nas linhas.

Foram obtidas, a partir de simulações em modelos de previsão de tempo, valores horários para todos os dias do ano de 2010 de forma a tornar possível uma representação o mais próximo possível da realidade e permitir o confronto entre os valores obtidos pelas várias variáveis e as datas em que ocorreram falhas de forma a possibilitar a obtenção de conclusões precisas.

As variáveis meteorológicas que foram alvo de pesquisa foram as seguintes:

- Temperatura
- Velocidade do vento ou Rajada
- Humidade relativa
- Índice SWEAT (indicador de ocorrência de tempestade)

De referir que para além destas quatro variáveis terem uma distribuição horário ao longo do ano, também estão divididas por distritos, ou seja, são obtidas dezoito tabelas, cada uma das quais com a discriminação horária dos valores de cada uma das variáveis atmosféricas.

4.6.1. Modelos de previsão de tempo

Neste subcapítulo realiza-se uma pequena descrição da base de funcionamento dos modelos de previsão meteorológica. As previsões de tempo são obtidas a partir de simulações realizadas num modelo de previsão de tempo designado Weather Research and Forecasting (WRF). Este modelo é desenvolvido por um conjunto de entidades de índole operacional e de

investigação nos Estados Unidos da América e é actualmente uma referência em termos de modelação numérica de mesoescala em muitos países. O WRF foi instalado e tornado operacional pelo Grupo de Meteorologia e Climatologia da Universidade de Aveiro.

O WRF é aplicado em três configurações diferentes, para Portugal continental, Açores e Madeira. Para Portugal Continental foi configurado com dois domínios, em que o primeiro domínio inclui grande parte da Península Ibérica e uma área considerável do oceano Atlântico e mar Mediterrâneo vizinhos. O segundo domínio cobre a totalidade do território de Portugal continental. As resoluções são de 25 km e 5 km para os domínios 1 e 2, respectivamente.

Concebido para ser uma ferramenta de topo na arte da simulação atmosférica, flexível, portátil, e eficiente em variadas plataformas de computação, o sistema WRF e do domínio publico e é disponibilizado gratuitamente.

O modelo é apto tanto para situações atmosféricas idealizadas como para situações reais, em escalas horizontais que podem ir desde alguns metros ate milhares de quilómetros. A investigação das parametrizações, a simulação idealizada de fenómenos (ondas gravíticas, ondas baroclinicas, convecção, etc), a simulação real do tempo passado, a assimilação de dados de observação para fins de análise regional, a previsão do tempo em tempo real e o ensino ilustram as faculdades do WRF.

As condições iniciais e de fronteira utilizadas pelo WRF são obtidas a partir de previsões previamente realizadas pelo modelo global de previsão de tempo designado “*Global Forecasting System*”, (GFS). O GFS opera com uma resolução horizontal elevada de 0.5° latitude x 0.5° longitude e as previsões meteorológicas são actualizadas quatro vezes por dia.

O Sistema de Previsão Global (GFS) é um modelo numérico e computacional de previsão atmosférica executado pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Este modelo matemático é executado quatro vezes por dia e produz previsões até 16 dias de antecedência, mas com a diminuição da resolução espacial e temporal ao longo do tempo. É amplamente aceite que para além de 7 dias as previsões são muito gerais e pouco precisas, e a maioria das entidades que fazem uso destas previsões raramente usam qualquer um dos resultados do modelo além de 10 dias (principalmente porque não existe um modelo de 16 dias, com o qual se possa comparar). [17]

4.6.2. Temperatura

A temperatura é sem qualquer dúvida uma variável com bastante influência na maioria das causas que estão por detrás das falhas registadas. É de conhecimento geral que, incidentes ambientais como os incêndios dependem bastante do valor da temperatura que é registada na zona geográfica onde se deflagra o incêndio ou falhas ocorridas devido a presença de cegonhas é condicionada pela densidade das próprias cegonhas na área geográfica onde ocorreu a falha que por sua vez é influenciada pelos valores de temperatura registados tendo em conta que valores mais elevados constituem um elemento preponderante no habitat natural das cegonhas. Os valores obtidos para a temperatura pelos modelos de previsão são dados em graus centígrados.

4.6.3. Vento

Tal como a temperatura, o vento também constitui uma variável meteorológica com bastante influência nas falhas ocorridas. Tal como acontece com a temperatura, se pensarmos na deflagração de um incêndio, sabemos que uma maior ou menor velocidade do vento é preponderante para uma maior ou menor alastramento do incêndio. Rajadas mais fortes fazem com que as chamas se espalhem e se inclinem permitindo um maior contacto com a vegetação, o que associado com o tempo seco característico de incêndio, permite uma combustão mais rápida e, consequentemente, um maior avanço do incêndio.

Para além da participação do vento na ocorrência de incêndios, o vento é, por si só, um elemento capaz de promover a ocorrência de falhas devido aos elevados valores de velocidade em que se pode manifestar. Apesar de não ser muito comum, a velocidade do vento, quando se apresenta em valores significativos, origina o balanceamento das linhas podendo ocorrer o desprendimento da mesma aos elementos de suporte. Mas é na interferência com as árvores que o vento tem maior influência. Para maiores velocidades de vento, há uma maior agitação dos ramos das árvores o que tem por consequência, o contacto destas com as linhas quando se situam próximas das mesmas. Os valores obtidos para o valor da rajada são dados em metros por segundo.

4.6.4. Humidade relativa

A humidade relativa surge aqui devido, essencialmente, à influência da mesma na ocorrência de descargas atmosféricas. O fenómeno denominado por trovoadas ocorre devido, de entre outros factores, a um valor relativamente alto da humidade relativa devido à influência da mesma na condutividade do ar.

Para além disso, têm uma participação, embora menos significativa, em acontecimentos como os incêndios. Na deflagração de incêndios, não obstante um valor alto da temperatura e uma velocidade do vento significativa, um baixo valor da humidade relativa também contribui para a propagação do incêndio. Os valores obtidos para a humidade relativa são dados em valor percentual.

4.6.5. Índice SWEAT

O indicador SWEAT (Severe Weather Threat index) é um indicador adimensional que determina a maior ou menor probabilidade de ocorrência de tempo adverso que inclui ocorrência de trovoadas e formação de tornados. O SWEAT index difere de outros indicadores de previsão de tempo adverso devido ao facto de levar em conta o perfil de comportamento do vento para avaliar o potencial de ocorrência de mau tempo.

Em termos gerais, as condições que normalmente levam à obtenção de um elevado índice SWEAT e a uma maior probabilidade de tempo adverso são:

- elevada temperatura

- reduzidos valores de humidade
- temperaturas mais baixas
- variações da direcção do vento com a altura

O indicador SWEAT é usualmente dividido em três níveis de acordo com a tabela que se segue:

Tabela 4.2 - Níveis de severidade do índice SWEAT

SWEAT	Potencial Ocorrência de Tempo Adverso
150 – 300	Possibilidade ligeira
300 – 400	Possibilidade severa
400 ou superior	Possibilidade de tornado

O indicador SWEAT é vantajoso para o diagnóstico de tempo adverso uma vez que utiliza na sua modelização, diversas variáveis com influência desde a variação e velocidade do vento até aos valores de humidade relativa.

4.7. Mapas geográficos

Para a realização do modelo de previsão geográfico que aqui se apresenta, é fundamental obter toda a informação relevante para a análise da fiabilidade da rede de transporte caracterizada geograficamente. Quer sejam os elementos anteriormente referidos como os incêndios ou as variáveis atmosféricas quer sejam os elementos que caracterizam a rede de transporte, mais concretamente, as linhas.

A necessidade da caracterização de toda esta informação é necessária em virtude da modelização, exposta nos capítulos seguintes, de todo o modelo matemático que, entre diversos factores, assenta numa componente geográfica. Esta vertente geográfica incide sobre a análise das falhas a nível distrital e na modelização das causas que estão na sua origem, com o intuito de obter uma representação fiável do modo como determinado grupo de falhas que têm uma mesma causa em comum se manifesta ao longo do continente.

Como a análise efectuada na rede de transporte inclui toda a rede de linhas de transporte, ficando de lado elementos como as subestações, é fundamental dispor de um mapa digital de toda a rede. Esse mapa pode ser encontrado na página na Internet da REN, em formato .dwg, extensão maioritariamente utilizada pelo software AutoCAD, que, de uma forma sucinta, trata-se de um software de desenho técnico assistido no qual se desenvolve projectos quer a duas dimensões quer tridimensional. De realçar ainda que, apesar de não ser de grande utilidade para o desenvolvimento deste trabalho, as linhas que constituem o mapa

da rede de transporte estão divididas em três cores: traçado a azul para linhas de 150 kV, traçado a verde para linhas de 220 kV e traçado a vermelho para linhas de 400 kV. Este mapa pode ser consultado no anexo 1. É este mapa digital das linhas, que é exportado o software ArcGIS que será utilizado para repartir pelos distritos as falhas atribuídas a uma dada causa e que ocorrem em determinadas linhas. Para além deste factor, será com base neste mapa que se irá medir a densidade de linhas em cada distrito, efectuando para isso a medição do total de comprimento de linhas que existem dentro dos limites que definem cada um dos dezoito distritos que compõem Portugal.

Para além deste mapa, havendo a necessidade, de como fora dito no parágrafo anterior, de relacionar as linhas onde ocorreram falhas com os distritos que são atravessados pelas mesmas, para além do mapa digital das linhas, há necessidade de haver ao mesmo tempo um mapa com a disposição geográfica dos distritos de Portugal. A razão pela qual neste trabalho se optou pela escolha do uso de um mapa distrital ao invés de um municipal ou até de freguesias será explicado no capítulo posterior. Este mapa encontra-se disponível no website do Atlas do Ambiente, website pertencente à Agência Portuguesa do Ambiente, em formato de *shapefile*, [18], formato utilizado pelos softwares de informação geográfica. De realçar que no website encontra-se o mapa de concelhos e que foi esses mesmo o mapa que foi utilizado em todo o processo. A razão para tal facto prende-se com a ausência de um mapa de distritos, encontrando-se apenas disponível no website os mapas de concelhos e distritos. Apesar da opção pelo mapa de concelhos, em nada isso afectou o desenvolvimento do modelo pois, a cada concelho representado em ambiente ArcGIS, está aliado uma tabela de atributos onde é possível encontrar, entre outros atributos como a área e o perímetro, o distrito ao qual pertence o concelho em questão.

A indicação do distrito ao qual pertence cada concelho permitiu, em ambiente ArcGIS, a agregação tabular dos concelhos em distritos permitindo, desta forma, desenvolver o trabalho da forma como planeada tendo como base esta nova disposição, facultando a contabilização quer das falhas ocorridas quer do comprimento das linhas ao nível de cada distrito.

4.8. Densidade de linhas

Um dos parâmetros que fará parte das modelizações matemáticas de dois dos quatro potenciais de ocorrência é a densidade de linhas presente em cada distrito, nomeadamente o potencial de ocorrência de falhas devido a incêndios e devido ao vento. A informação que este parâmetro transmite é crucial na medida em que nos fornece uma percepção real da quantidade de linhas que estão concentradas ou presentes num determinado distrito.

A inclusão deste parâmetro, no capítulo seguinte, na modelização do potencial de ocorrência de incêndios é justificado pelo facto de que uma maior densidade de linhas num dado distrito significa uma maior probabilidade de ocorrer uma falha devido a um incêndio que deflagra no mesmo distrito. Este facto é perceptível se imaginarmos que um incêndio, sendo dependente de elementos como a vegetação ou variáveis atmosféricas como a temperatura, apenas se tornará causador de falhas na linhas se as mesmas existirem no distrito e, se as mesmas se situarem em zonas rurais ou com elevada densidade de vegetação.

De referir, que esta densidade de vegetação constituirá também um parâmetro que será também utilizado na modelização do mesmo potencial de ocorrência. No caso do uso da densidade de linhas na modelização do potencial de ocorrência de falhas devido ao vento segue o mesmo princípio. Não obstante a possibilidade de as falhas originadas por ocorrência de ventos mais fortes que provocam o balanceamento das árvores, essencialmente o topo das mesmas e os ramos mais afastados do tronco da árvore, que conseqüentemente, colidem com as linhas presentes na mesma zona geográfica, há também a hipótese do desprendimento da linha em relação aos apoios. Embora seja necessário, para este último caso, a ocorrência de velocidades de ventos significativamente elevadas, a verdade é que, a ocorrência de falhas, quer por desprendimento das linhas quer por contacto das mesmas com ramos ou galhos soltos das árvores, exige uma clara dependência entre a ocorrência da falha e a presença de linhas numa mesma zona geográfica. Daqui resulta também a justificação para a inclusão da densidade de linhas na modelização do potencial de ocorrência de falhas devido ao vento.

Este parâmetro, densidade de linhas, é calculado através do quociente entre o comprimento total de todas as linhas presentes num dado distrito e área desse mesmo distrito. Desta forma, este parâmetro respeita, aquando da sua utilização na modelização dos potenciais de ocorrência de falhas devido a incêndios ou vento, duas situações fundamentais: quanto maior for o número de linhas que atravessam o mesmo distrito, maior deverá ser o potencial de ocorrência de falhas; quanto maior for a área de um distrito, menor será a densidade de linhas e, conseqüentemente, menor deverá ser o potencial de ocorrência de falhas para esse distrito.

De referir que a utilização do parâmetro da densidade de linhas na modelização dos potenciais de ocorrência poderia ser posto em causa se, num dado distrito, as linhas estivessem geograficamente muito próximas umas das outras, o que originaria, no caso de um distrito atravessado por várias linhas, uma maior densidade de linhas comparativamente a outros distritos, muito embora a grande maioria dessas linhas pudessem estar próximas umas das outras. A sua proximidade faria com que, eventualmente, na modelização da probabilidade de ocorrência de falha devido, por exemplo, a incêndios, obtivesse-mos para determinado dia do ano, resultados que, baseados, entre outros parâmetros, na densidade de linhas, indicassem resultados propícios à ocorrência de falha, que de facto, não estariam correctos uma vez que as linhas não se encontravam dispersas pelo distritos e como tal, apesar de muitas, estavam concentradas numa dada zona geográfica contida na área do distrito, que poderia nunca coincidir com a zona de ocorrência do incêndio. Contudo, tal situação não se sucede uma vez que, na sua maioria as linhas estão bastante dispersas ao longo do território e dentro dos distritos. Apenas nas situações do ponto de origem ou no ponto de chegada da linha, coincidentes com a posição das subestações no terreno, é que se verifica uma aglomeração de várias linhas numa mesma área com centro na subestação, contudo são áreas bastante inferiores quando comparadas com as áreas totais dos distritos.

A obtenção deste parâmetro é realizada em ambiente ArcGIS, através do uso de técnicas de sobreposição que passa por sobrepor o mapa vectorial com o traçado de todas as linhas da RNT, obtido em AutoCAD e exportado para ArcGIS, sobre o mapa vectorial de concelhos. A agregação destes dois mapas permite a sua análise conjunta, permitindo a extracção de diversa informação, sendo que o nos interessa é a densidade de linhas em cada distrito. De realçar que, apesar do mapa conter uma representação digital de todos os concelhos, os

mesmos possuem um conjunto de atributos onde está contemplado o distrito ao qual pertencem. Desta forma, a sobreposição dos dois mapas, aliada ao facto de haver, nos atributos de cada concelho, o distrito ao qual o mesmo pertence, permite, o cálculo da densidade de linhas em cada distrito através do cálculo do comprimento de linhas existentes nos concelhos que têm em comum o facto de pertencerem ao mesmo distrito, dividindo posteriormente pela área do distrito. A figura que a seguir se apresenta pretende representar esta funcionalidade do ArcGIS.

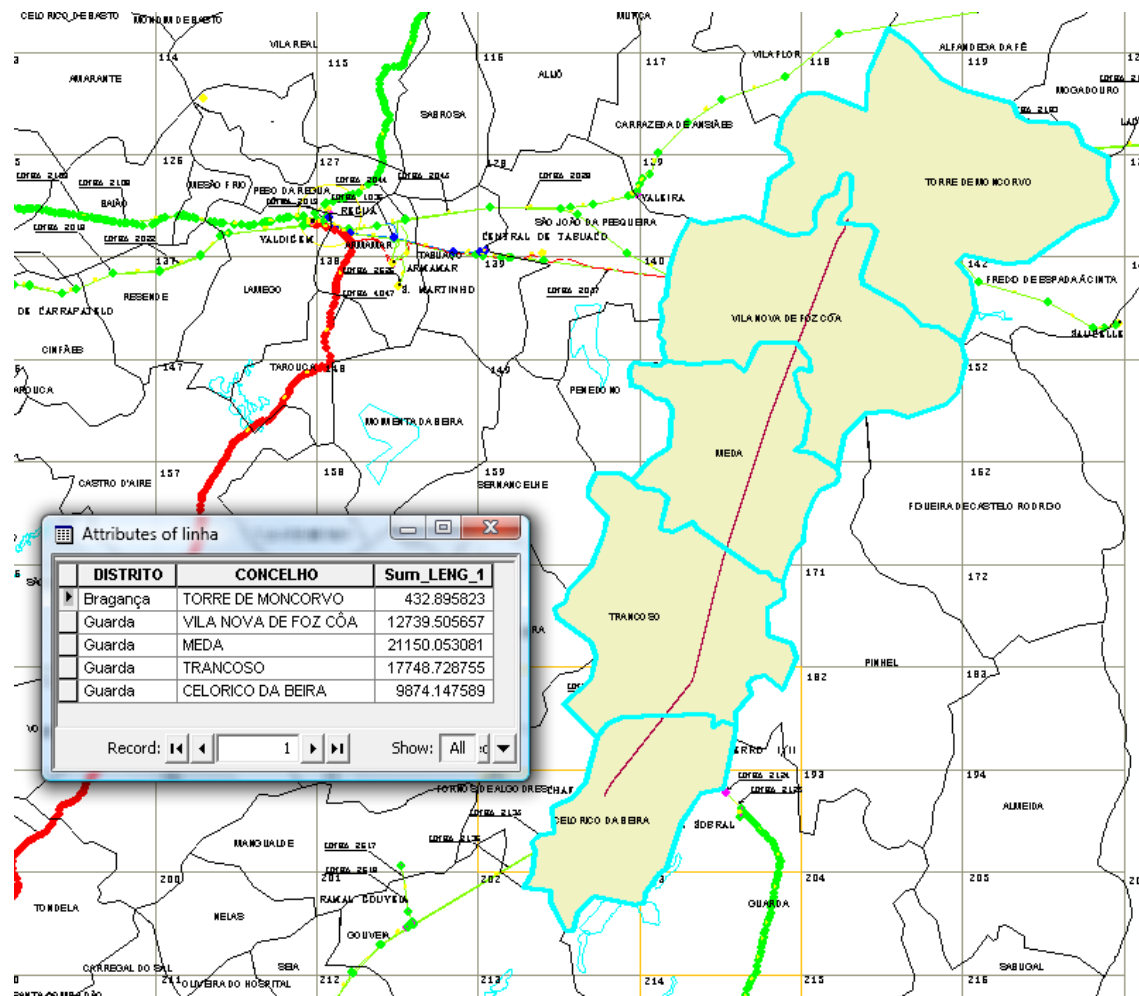
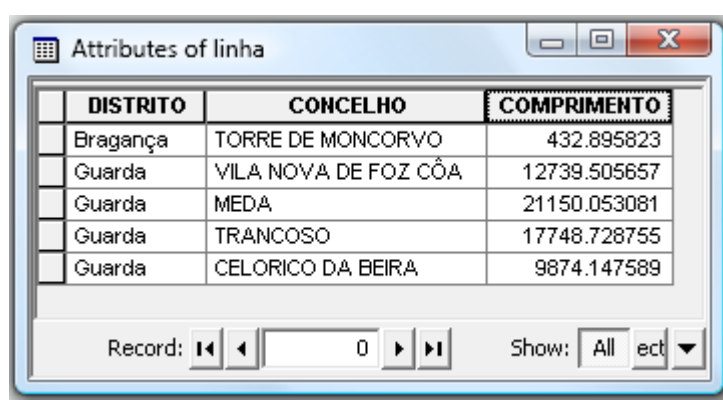


Figura 4.6 - Partição e medição do comprimento de uma linha por distritos em ArcGIS

É possível ver, em primeira instância, a sobreposição dos dois mapas: traçado de linhas e mapa de concelhos. As linhas que se visualizam a verde e vermelho representam, respectivamente, linhas ou partes de linhas de 220 kV e 400kV. Sob as mesmas, temos, na forma de polígonos irregulares temos a disposição dos concelhos. No que diz respeito à obtenção dos comprimentos das linhas, temos, representada a vermelho, a selecção de uma linha, para a qual será medido o comprimento parcial da mesma que está afectada a cada um dos distritos pelos quais a linha atravessa. Circundados por uma linha azul a traço grosso,

podemos ver a selecção dos concelhos pelos quais a linha atravessa. Através do uso das ferramentas de “*Selection*”, “*Clip*”, “*Length*” e “*Join*”, é possível fazer a selecção da linha e dos concelhos pelos quais atravessa, realizar a partição da linha, que nesta altura não é mais do que um segmento de recta, em função dos limites dos concelhos, obtendo desta forma, a divisão da linha em tantos segmentos de recta consoante for o número de concelhos na qual está contida. A ferramenta “*Length*” permite medir o comprimento de cada um desses segmentos, que no fundo, para um dado concelho seleccionado representa o comprimento parcial da linha que nele está contido. Por fim, a ferramenta “*Join*” permita realizar a agregação da tabela de atributos de cada um dos mapas, definindo previamente, o distrito como elemento de ligação entre ambas as tabelas. Feito isso, obtemos então a tabela que está também representada na figura e apresentada a seguir em maior detalhe onde é possível ver os resultados obtidos.



DISTRITO	CONCELHO	COMPRIMENTO
Bragança	TORRE DE MONCORVO	432.895823
Guarda	VILA NOVA DE FOZ COA	12739.505657
Guarda	MEDA	21150.053081
Guarda	TRANCOSO	17748.728755
Guarda	CELORICO DA BEIRA	9874.147589

Record: [Navigation icons] 0 [Navigation icons] Show: All ect [Dropdown arrow]

Figura 4.7 - Exemplo de tabela de atributos com o comprimento, em metros, de uma linha repartida por distritos

Podemos ver então que a linha seleccionada atravessa dois distritos, mais concretamente, um concelho pertencente ao distrito de Bragança e quatro concelhos pertencentes ao distrito da Guarda. Na terceira coluna temos, discriminados, os valores dos comprimentos parciais, dados em metros, de cada linha em cada um dos concelhos. A partir daqui, há lugar à extracção destes resultados para uma folha de cálculo em Excel onde se realiza a agregação dos valores dos comprimentos parciais da linha em cada um dos distritos.

Foi com base neste processo que se obteve toda os valores dos comprimentos parciais de cada uma das linhas agregados aos respectivos distritos onde estão contidas, obtendo-se o total de quilómetros de linhas presente em cada distrito, que dividido pela área de cada distrito permitiu o cálculo da densidade de linhas a um nível distrital. A tabela que se apresenta a seguir mostra os resultados obtidos.

Tabela 4.3 - Resultados para a densidade de linhas

	AREA	COMP_LINHAS	DENS_LINHAS
	(km ²)	(km)	(km/km ²)
AVEIRO	2773.601	434.486	0.156650
BEJA	10228.710	562.936	0.055035
BRAGA	2704.666	589.296	0.217881
BRAGANÇA	6623.760	589.300	0.088968
C BRANCO	6594.050	351.636	0.053326
COIMBRA	3934.219	600.173	0.152552
EVORA	7379.480	230.796	0.031275
FARO	4988.502	579.764	0.116220
GUARDA	5548.680	373.933	0.067391
LEIRIA	3473.307	457.139	0.131615
LISBOA	2699.617	772.884	0.286294
PORTALEGRE	6086.780	198.035	0.032535
PORTO	2281.991	595.667	0.261029
SANTAREM	6717.035	616.985	0.091854
SETUBAL	4924.301	925.439	0.187933
VIANA CASTELO	2195.020	159.290	0.072569
VILA REAL	4328.912	156.468	0.036145
WISEU	4990.339	529.955	0.106196

Na primeira coluna a seguir à coluna com listagem dos distritos ordenada alfabeticamente temos as áreas dos distritos, seguido da coluna com os totais dos comprimentos de linhas afectos a cada um dos distritos e na última coluna temos os valores obtidos para a densidade de linhas.

De realçar que, ao contrário do que poderia lembrar numa primeira perspectiva do que poderiam ser os resultados obtidos, uma maior área distrital não significa que vá existir um maior comprimento de linhas presentes. Se analisarmos a tabela, temos distritos como Portalegre, com uma área de 6086,780 km² no qual estão presentes um total de 198,035 km de linhas, que contrasta com, por exemplo o distrito do Porto que, numa área inferior, 2281,991 km² tem contido nele, 595,667 km de linhas, donde resulta daqui uma densidade de linhas bastante superior para o distrito do Porto comparativamente ao distrito de Portalegre.

4.9. Densidade de vegetação

Outro dos parâmetros que também faz parte das modelizações matemáticas dos potenciais de ocorrência de falha devido a incêndios e vento é a densidade de vegetação. Tal como já explicado anteriormente, quer na ocorrência de incêndios quer no motivo pela qual sucedem falhas devido a ventos fortes, a vegetação assume nestas duas situações especial importância. No caso dos incêndios, é de senso comum, que uma maior densidade de vegetação é propícia à ignição e expansão de um incêndio, aumentando a possibilidade do mesmo se aproximar em demasia do local onde se situa uma linha. Também no caso das falhas devido a ventos fortes, seguindo o mesmo raciocínio exposto no subcapítulo anterior, estas falhas, ocorrendo essencialmente devido à colisão de ramos e galhos das árvores com as linhas, a sua ocorrência está dependente da maior ou menor densidade de vegetação presente nas imediações de uma determinada linha aquando da ocorrência de ventos fortes.

De facto, a inclusão deste parâmetro na modelização do potencial de ocorrência de falha deverá responder a um facto: a uma maior densidade de vegetação corresponde uma maior probabilidade de ocorrência de incêndios e, conseqüentemente, uma maior probabilidade de ocorrência de falha. No caso das falhas devido a ventos fortes, segue a mesma analogia, uma maior densidade de vegetação tem por consequência uma maior probabilidade de colisão de vegetação com as linhas.

Seguindo uma analogia ao método utilizado no cálculo da densidade de linhas, a densidade de vegetação é obtida através do quociente entre a área total de vegetação presente num distrito e a área total desse mesmo distrito. A área de vegetação é obtida através da agregação das áreas existentes de florestas com as áreas existentes de matos, parâmetros estes cuja obtenção fora já explicado no subcapítulo 5.5. As áreas de vegetação obtidas através do software “FloreStat”, discriminadas em área de floresta e área de mato e dadas por concelho, são somadas, obtendo-se a área total de vegetação total presente num determinado concelho. De referir que se assumiu igualdade de importância na ocorrência de falhas tanto por parte da componente de floresta como da componente de mato, daí que se tenha optado por somar ambas as partes sem atribuição de qualquer peso em nenhum dos parâmetros que reflectisse a sua maior ou menor importância. De facto, se imaginarmos a deflagração de um incêndio, sabemos que a existência de floresta contribui para a continuidade do incêndio e a existência de mato contribui para a sua expansão rápida.

Obtidas as áreas totais de vegetação, numa folha de cálculo em Excel realiza-se a agregação em distritos das áreas de vegetação obtidas em cada concelho pertencentes a um mesmo distrito, obtendo-se assim, a área total de vegetação em cada distrito. A tabela que se segue apresenta os valores obtidos para a densidade de vegetação.

Tabela 4.4 - Resultados para a densidade de vegetação

	AREA	AREA_VEG	DENS_VEGEÇÃO
	(km ²)	(km ²)	(km ² /km ²)
AVEIRO	2773.601	1669.05	0.601763
BEJA	10228.710	4831.96	0.472392
BRAGA	2704.666	1594.75	0.589629
BRAGANÇA	6623.760	4165.00	0.628797
C BRANCO	6594.050	4747.06	0.719901
COIMBRA	3934.219	2851.29	0.724741
EVORA	7379.480	4011.00	0.543534
FARO	4988.502	3215.23	0.644528
GUARDA	5548.680	3761.35	0.677882
LEIRIA	3473.307	2234.83	0.643430
LISBOA	2699.617	866.29	0.320894
PORTALEGRE	6086.780	3373.82	0.554287
PORTO	2281.991	1119.81	0.490716
SANTAREM	6717.035	4097.32	0.609989
SETUBAL	4924.301	3114.76	0.632528
VIANA CASTELO	2195.020	1562.86	0.712003
VILA REAL	4328.912	3072.91	0.709857
VISEU	4990.339	3562.45	0.713869

Temos então, na primeira coluna de números, a área de cada distrito, seguido da coluna com as áreas totais de vegetação e na última coluna o valor da densidade de vegetação, obtido com o quociente entre as duas primeiras colunas. Os valores obtidos não têm particular destaque, exceptuando aquilo que já seria o esperado, distritos mais urbanos como Porto e Lisboa têm menor densidade de vegetação em relação a distritos como Viana do Castelo, onde coexistem, quer concelhos mais urbanizados, quer concelhos de carácter rural, tradicionalmente com forte componente de vegetação.

Capítulo 5

Potencial de Ocorrência

Neste capítulo será descrito todo o processo efectuado para o desenvolvimento do modelo matemático para a previsão geográfica de fiabilidade em linhas da RNT, em que é seguido um procedimento onde se calcula para cada causa, o seu potencial de ocorrência, que não é mais do que um indicador que enuncia um maior ou menor probabilidade de uma determinada causa poder ser geradora de falhas numa determinada altura do ano e para um determinado distrito.

Este parâmetro é calculado para cada uma das causas em análise, nomeadamente, incêndios, descargas atmosféricas, cegonhas e vento. Será este parâmetro que, para cada causa, influenciado por diversos parâmetros que estão correlacionados entre si na forma como cada uma das causas se manifesta, vai ao longo do tempo, realçar a maior ou menor preponderância para a sua ocorrência. A função de probabilidade de ocorrência de uma falha devido a uma determinada causa e num pré-especificado distrito será obtida posteriormente aquando do cruzamento, para o mesmo distrito, entre o potencial de ocorrência dessa mesma causa e as falhas ocorridas devidas ao mesmo motivo.

No que diz respeito ao intervalo de tempo em análise, o potencial de ocorrência para cada uma das causas é calculado para o intervalo de tempo de um ano, com distribuição diária ou horária conforme a causa em análise, tendo em conta que se dispõe de todos os parâmetros necessários dispostos ao longo do intervalo de tempo de um ano.

Por uma questão de evitar repetir em demasia o conceito de potencial de ocorrência e providenciar uma melhor leitura, nos capítulos e subcapítulos que se seguem, o potencial de ocorrência para a ser escrito como PO.

5.1. Divisão geográfica

A divisão geográfica que é realizada neste trabalho é realizada com o intuito de poder ter uma caracterização distinta dos cenários potencialmente favoráveis para a ocorrência de falhas. Assim sendo, é de fácil conclusão que, uma maior divisão significa resultados mais fiáveis e concretos para cada uma das subdivisões. Por outro lado, a divisão de um território em muitas zonas pode originar a um excesso de informação desnecessária se levarmos em conta que em duas zonas consecutivas, factores como a temperatura ou a velocidade do vento não irem ter variações significativas o que irá originar eventos atmosféricos e mesmo acontecimentos acidentais com impactos muito semelhantes para ambas as zonas. Para além disto, podemos estar a correr o risco de introduzir muitos concelhos nos quais não há qualquer presença de linhas de transporte.

Na aplicação desta divisão geográfica ao caso de todo o território de Portugal, surgem duas hipóteses concretas para a divisão: por distritos ou por concelhos. Seguindo o raciocínio que foi exposto no parágrafo anterior, a divisão por concelhos é demasiado reduzida na medida em que dois ou mais concelhos adjacentes apresentam variáveis meteorológicas com o mesmo nível de grandeza para além de existirem concelhos sem travessia de linhas de transporte. Desta forma, a divisão distrital surge como melhor opção para a divisão geográfica, pois já há uma maior relevância nas variações meteorológicas de uns distritos para outros.

De realçar ainda que, o modelo matemático que aqui é apresentado, para além de implicar a contabilização do comprimento das linhas afectas aos vários distritos, necessita também da contabilização do número de falhas e comprimentos de linhas afectadas por distrito. Se esta contabilização fosse efectuada ao nível dos concelhos, seriam muitos os concelhos, excluindo que nem tão pouco são atravessados por linhas e, consequentemente, não registam falhas, que não teriam qualquer registo de falhas. É fácil imaginar como este cenário acontece se tivermos em conta que na lista de ocorrências de falhas cedida pela REN, consta um total de 240 falhas que, sobrepostas num mapa de concelhos onde constam 278 concelhos, haveriam pelo menos, se assumíssemos uma falha por concelho, 38 concelhos sem qualquer registo de falhas ao longo de um ano inteiro. Pela análise da mesma tabela verificamos que há concelhos onde constam mais do que uma falha daí que o número de concelhos sem registo de falha seria ainda maior. Isto reforça ainda mais a opção pela análise distrital tornando-a favorável tanto a nível de densidade de linhas como na contabilização de falhas.

De realçar ainda que, a divisão do território em distritos é também influenciada pelo modo como a diferente informação necessária para a modelização dos diversos cenários meteorológicos é obtido. No caso de variáveis como a temperatura ou a velocidade do vento, a informação sobre a forma como se manifestam ao longo de todo o território de Portugal e ao longo do tempo, foi disponibilizada por distritos o que influenciou a opção pela divisão distrital. Era possível assumir, que os valores dessas mesmas variáveis para um dado distrito seriam os mesmos para todos os concelhos pertencentes a esse mesmo distrito e assim permitir uma divisão por concelhos, mas pelas razões atrás apresentadas acrescido do facto

de que iguais valores para todos os concelhos de um dado distrito iriam originar idênticos cenários atmosféricos, manteve-se a opção pela divisão distrital.

Assim sendo, obtêm-se uma divisão conforme é apresentada na figura seguinte:



Figura 5.1 - Mapa Distrital de Portugal

5.2. Potencial de ocorrência de falhas devido a incêndios

5.2.1. Introdução

O PO desenvolvido para o caso dos incêndios implica a análise de diversos parâmetros tal como já fora anteriormente enunciado. Parâmetros como a densidade de linhas e densidade de vegetação em cada um dos distritos são fundamentais para a ocorrência de falhas devido a incêndios. Outros parâmetros como a temperatura, vento ou a humidade constituem também variáveis com influência na ocorrência de falhas devido a incêndios, pois constituem factores que interferem numa maior ou menor ocorrência de incêndios consoante a variação dos mesmos.

A avaliação do risco de incêndio que, com maior frequência, se observa num dado distrito é uma tarefa complexa. Contudo, a sua modelização é crucial para a avaliação do impacto dos incêndios na fiabilidade da rede de transporte. A ocorrência de falhas nas linhas devido a incêndio está dependente, numa primeira instância da ocorrência ou não de incêndios. Como não é possível saber quando, onde e com que grandeza se irá desenrolar um incêndio, torna-se necessário dispor de alguma ferramenta matemática que consiga prever qual a probabilidade de vir a acontecer um incêndio numa determinada área geográfica, mais concretamente, num distrito. Para além da necessidade de termos na posse tal ferramenta, era indispensável que a mesma fosse suficientemente precisa e que a previsão por ela dada fosse diária. Com este objectivo procedeu-se à construção de um Índice de Risco de Incêndio.

Uma pesquisa feita em diversas bases bibliográficas e sítios na Internet leva-nos ao encontro de diferentes metodologias com vista à construção de um índice de risco de incêndio, [19], [20]. A variedade de índices encontrados, dos mais simples aos mais complexos, procura dar indicações sobre a probabilidade de vir a registar-se ocorrências de incêndios em determinadas condições meteorológicas. Todos eles têm em comum o facto de resultarem de correlações estabelecidas entre um maior ou menor número de elementos meteorológicos. Partindo do conhecimento da realidade nacional, quer em termos meteorológicos e de densidade de vegetação, quer em termos do registo da localização geográfica das falhas ocorridas ao nível da rede de transporte devidas a incêndios, tentou-se produzir um índice que permitisse estabelecer relações precisas entre estas duas realidades.

Embora se trate de um índice de risco de incêndio que assenta, essencialmente, em variáveis meteorológicas, não se deverá considerar apenas sob este aspecto, na medida em que na modelização global do PO, às variáveis meteorológicas e à sua variação, acrescem dados relativos à densidade de vegetação e à densidade de linhas por distrito.

Para a criação deste índice, que se pretende eficaz e passível de ser utilizado em qualquer momento e local que se pretenda foram então estabelecidas relações entre as diversas variáveis meteorológicas mais significativas e com maior presença na incidência de fogos florestais e, que ao mesmo tempo fossem variáveis de fácil obtenção, nomeadamente, valores horários da velocidade do vento, humidade relativa do ar e temperatura.

5.2.2. Índice de Risco de Incêndio e Potencial de Ocorrência

O Índice de Risco de Incêndio foi então construído com base numa selecção das variáveis atmosféricas consideradas com influência na ocorrência de incêndio e nas ocorrências de falhas nas linhas devidas a incêndios. As variáveis atmosféricas que fazem parte da construção deste índice são:

- Temperatura
- Humidade
- Vento

O uso destas variáveis justifica-se pelo facto de que, no caso da temperatura, porque é quando estamos perante temperaturas médias superiores ao normal que se sucedem os incêndios. Uma temperatura mais elevada origina com que determinadas área geográficas se tornem mais secas tornando-se especialmente propícias para a ignição e deflagração de incêndios. A temperatura aliada a um valor relativamente alto da velocidade do vento amplifica ainda mais a probabilidade de ocorrência de incêndio e, para além disso, o vento é um ajudante perfeito no avanço de um incêndio. Por sua vez, a humidade relativa presente num dado distrito, ao contrário da temperatura, quando se manifesta com um baixo valor percentual é também um contribuinte para a ocorrência de incêndios.

Como já fora dito anteriormente, no subcapítulo 4.6, estas variáveis, obtidas através de modelos de previsão de tempo, para além de discriminadas por distritos, têm uma distribuição horária ao longo dos dias do ano. Como se pretende que o Índice de Risco de Incêndio seja um ferramenta com a qual seja possível obter uma previsão do risco de incêndio diário, faz todo o sentido utilizar o valor médio diário de cada uma das variáveis atmosféricas.

Por outro lado, para além do uso dos factores atmosféricos, há lugar a um correlacionamento entre as variáveis atmosféricas e as falhas obtidas na rede de transporte devidas a incêndio. Através da análise da lista de falhas da REN, foi possível, em primeiro, saber a data de ocorrência das falhas, pois trata-se de um dado presente na lista e, através do uso da informação relativa às linhas onde ocorreram falhas e dos mapas geográficos com o traçado das linhas e dos concelhos, saber em que distritos ocorreram as falhas.

O gráfico que se apresenta a seguir mostra o momento temporal em que ocorreram as falhas:

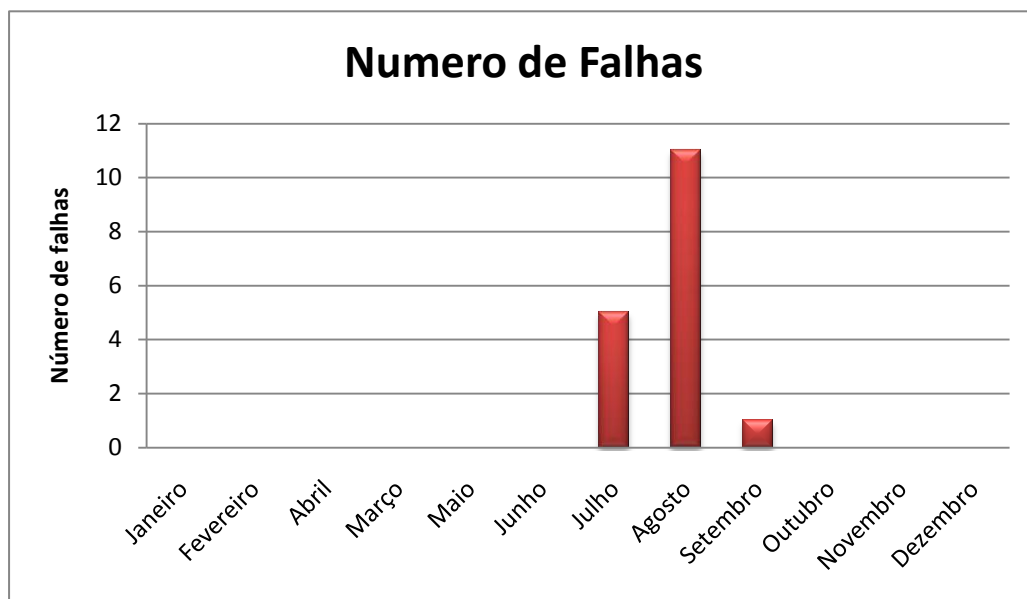


Figura 5.2 - Número de falhas nas linhas devido a incêndios

Conforme seria de esperar dado tratar-se de falhas ocorridas devido a incêndios, as mesmas ocorrem no período de Verão, mais concretamente, nos meses de Julho, Agosto e Setembro. O intervalo de tempo em que as falhas ocorreram está de acordo com a figura 4.1 exposta no subcapítulo 4.2.1, onde se pode ver a distribuição de ocorrências dos incêndios de maior porte ao longo do ano, sendo que a maior fatia destes incêndios acontece essencialmente no mês de Agosto.

No que diz respeito à distribuição geográfica das falhas, a mesma segue a distribuição apresentada no gráfico seguinte:

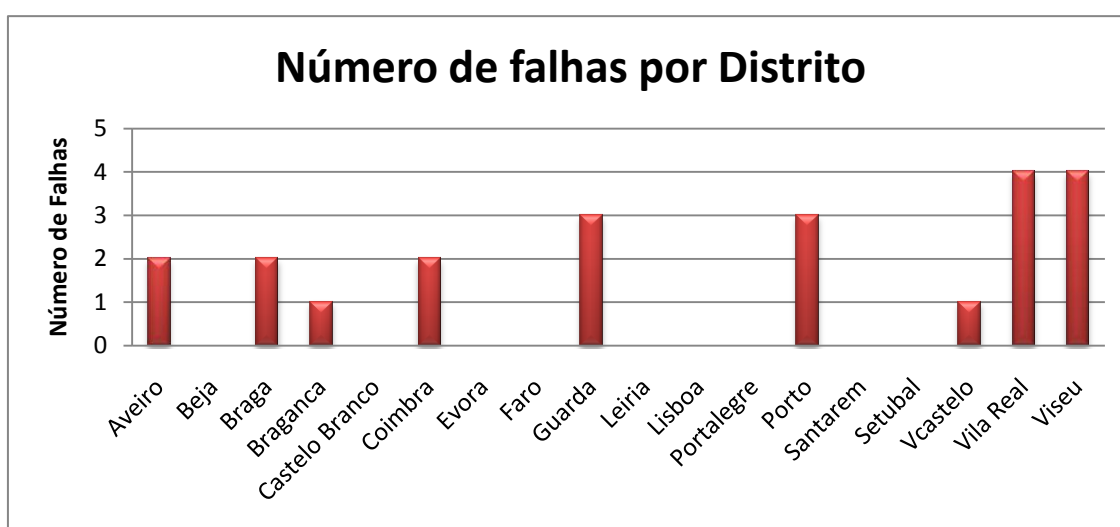


Figura 5.3 - Número de falhas devido a incêndios por distrito

Analisando o gráfico, é possível verificar que os distritos de Guarda, Porto, Vila Real e Viseu foram os que mais falhas nas linhas devido a incêndios registaram. Esta distribuição geográfica das falhas está também ela de acordo com a distribuição geográfica das ocorrências dos incêndios ilustrada na figura 4.2 do subcapítulo 4.2.2, em que os mesmos distritos contabilizam, no seu total, cerca de 50 % dos incêndios ocorridos.

De realçar o facto de na figura 5.2 estarem contabilizadas 18 ocorrências de falhas e de na figura 5.3 estarem contabilizados 22 distritos afectados. Isto acontece devido ao facto de que, aquando do uso do software ArcGIS na agregação do traçado das linhas com o mapa dos concelhos com vista à obtenção, através do conhecimento da linha afectada, dos distritos afectados, surgem linhas afectados que atravessam mais do que um distrito e, como se convencionou neste trabalho, que uma dada falha, quando ocorrido num determinado troço da linha afecta toda a linha, surgem casos em que uma falha numa linha contempla um ou mais distritos afectados, daí resultar um número superior de distritos afectados em relação ao número de falhas ocorridas.

Com base no momento temporal em que ocorreram as falhas nos distritos de Vila Real e Viseu, distritos esses que foram os que mais falhas ocorridas contabilizaram, e com base nos valores médios das variáveis atmosféricas enunciadas, que se procedeu a um correlacionamento entre as variáveis. Por outras palavras, procurou-se construir uma função, função esta ao qual se chamou Índice de Risco de Incêndio, que estabelece uma dependência entre o registo de área ardida ao longo do ano e os valores médios diários obtidos para as variáveis atmosféricas nos dias de ocorrência de incêndio de acordo com a seguinte equação:

$$IRI(D) = \theta_1 + \theta_2.V + \theta_3.HR + \theta_4.T + \theta_5.IRI(D - 1) \quad (5.1)$$

em que;

IRI(D) - Índice de Risco de Incêndio para o dia D

IRI(D-1) - Índice de Risco de Incêndio para o dia D-1

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ - Parâmetros

V - Valor médio diário da rajada no dia D

HR - Valor médio diário da humidade relativa no dia D

T - Valor médio diário da temperatura no dia D

Os gráficos seguintes mostram a dependência entre as variáveis atmosféricas e o estimador de área ardida.

Temperatura

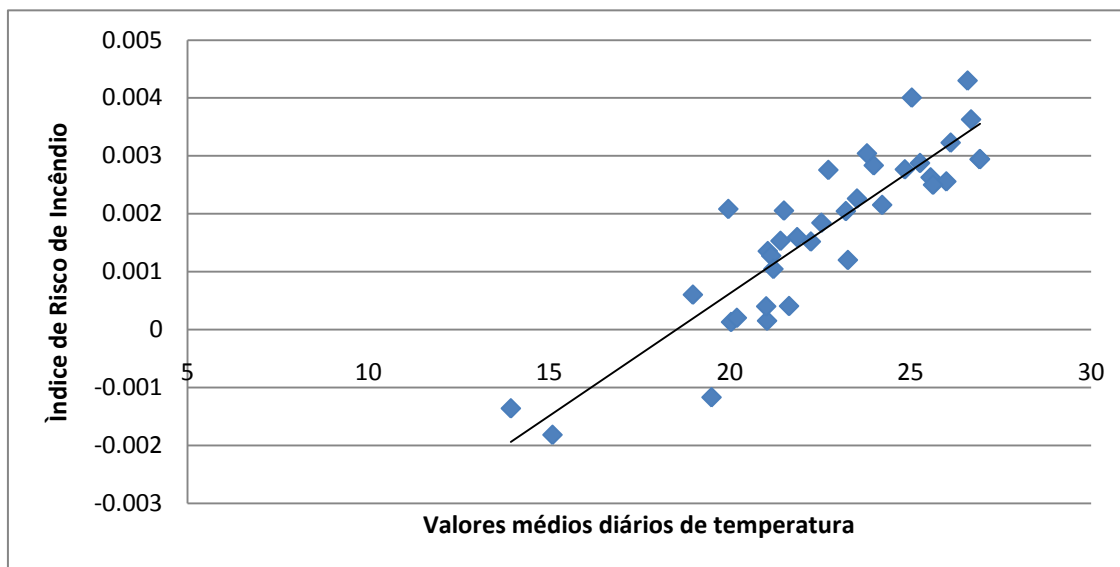


Figura 5.4 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários da temperatura

Humidade Relativa

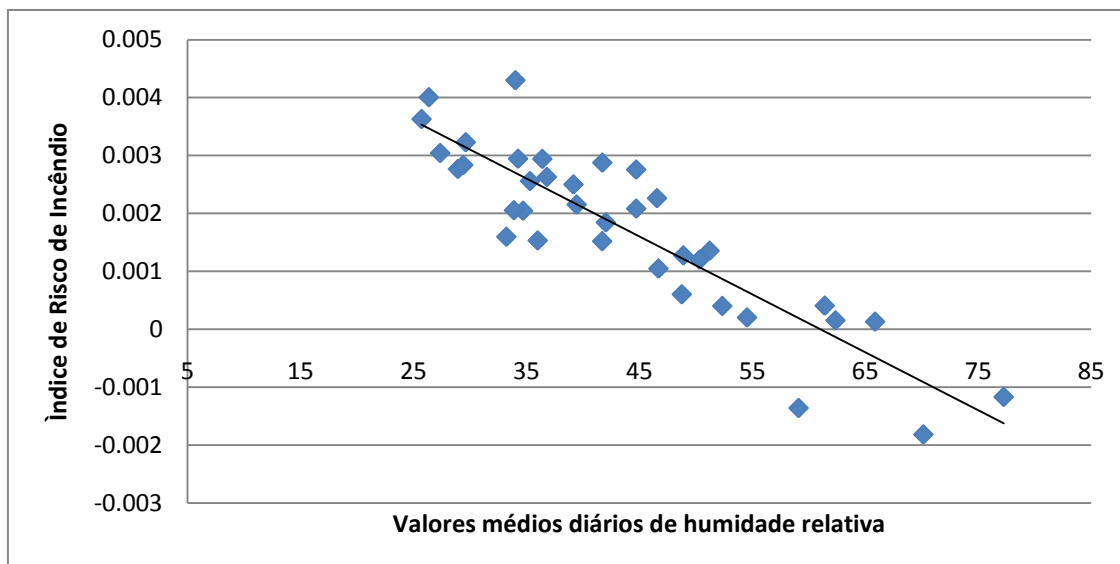


Figura 5.5 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários da humidade relativa

Velocidade do Vento

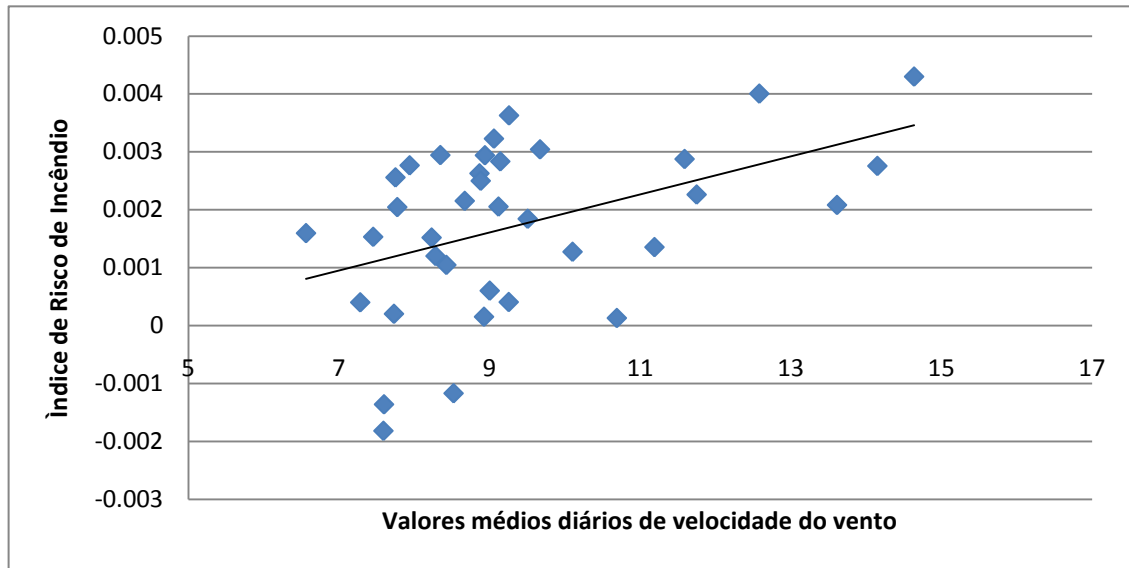


Figura 5.6 - Dependência entre o Índice de Risco de Incêndio e os valores médios diários de velocidade do vento

Conforme se pode ver pelos gráficos apresentados, vemos que há uma dependência linear entre cada uma das variáveis atmosféricas e o resultado que se obtém para o risco de incêndio. Embora no gráfico com a relação entre o IRI e os valores médios da velocidade do vento, essa relação possa não ser muito exacta, já nos casos da humidade relativa e da temperatura, essa relação linear é bem mais evidente.

Com a análise das relações lineares entre cada uma das variáveis atmosféricas e o estimador de área ardida, há lugar à parametrização da equação através da minimização do erro entre o valor que se obtém, para dia de ocorrência de incêndio e o valor da área ardida normalizada, seguindo a equação:

$$\min \text{ErroAreaArdida}(D) = \text{ABS}(\text{AreaArdidaNorm} - \text{IRI}(D)) \quad (5.2)$$

Para além disso, criou-se, na equação, de uma componente regressiva em relação ao dia anterior que leva em conta os resultados que se obtém do IRI para o dia anterior.

Desta forma, foi possível obter um Índice de Risco de Incêndio diário dado por:

$$\text{IRI}(D) = -0.0021856 + 0.000224.V - 0.000062.HR + 0.0002.T + 0.1.\text{IRI}(D - 1) \quad (5.3)$$

em que;

IRI - Índice de Risco de Incêndio

D - Dia do Ano

V - Valor médio diário da rajada

HR - Valor médio diário da humidade relativa

T - Valor médio diário da temperatura

IRI (D-1) - Valor do Risco de Incêndio obtido para o dia anterior

Com base neste índice tornou-se possível ter uma previsão do risco de incêndio para o dia seguinte, tendo em conta os valores presentes da temperatura, humidade e velocidade do vento. De realçar a presença na fórmula da parcela $IRI(D-1)$, que se traduz como sendo um parcela auto-regressiva em relação ao dia anterior, que contempla a variável dependente contida na fórmula, que no caso em questão é o IRI.

De realçar o facto de que, com o uso desta fórmula e tendo em conta que as variáveis independentes, neste caso, as variáveis atmosféricas estão discriminadas por distritos obtemos um Índice de Risco de Incêndio para cada distrito. Na figura a seguir apresentada está um exemplo, para o distrito de Vila Real, do resultado que se obtêm com a fórmula especificada.

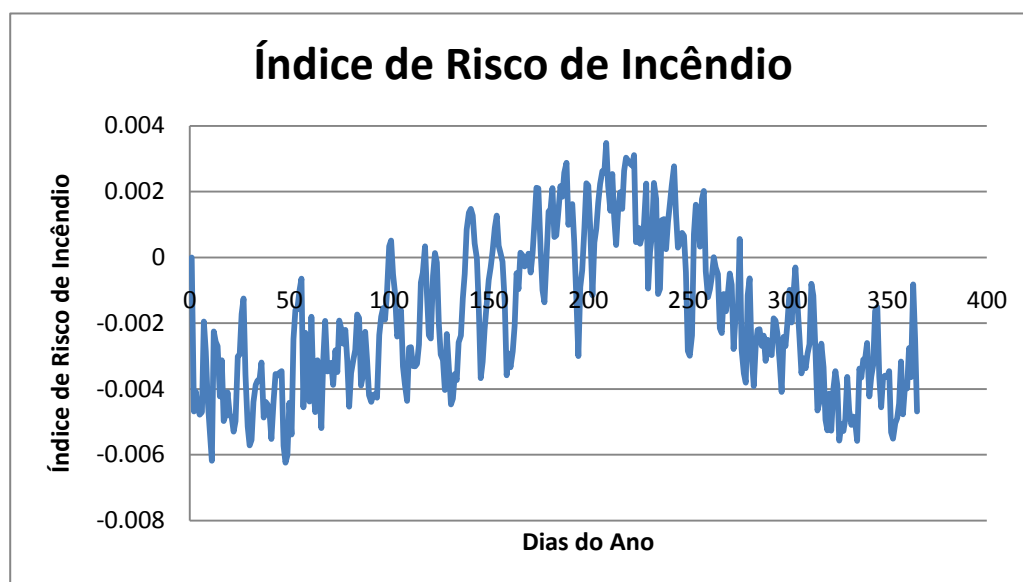


Figura 5.7 - Índice de Risco de Incêndio para o distrito de Vila Real

Pela análise do gráfico, é facilmente perceptível que a variação do Índice de Risco de Incêndio acompanha o registo de ocorrências de incêndio e o registo de ocorrências de falhas nas linhas devido a incêndios. A variação ao longo do ano está também de acordo com a evolução do valor médio da temperatura, sendo que, as grandes variações que se observam em intervalos de dias pequenos, advêm do efeito da variação dos valores médios da humidade e da velocidade do vento e o do valor obtido para o Índice de Risco de Incêndio no dia anterior.

Como já foi referido no início deste subcapítulo, o modelo para o PO para o caso de incêndios inclui também na sua modelização, para além do Índice de Risco de Incêndio, os parâmetros da densidade de linhas e da densidade de vegetação sendo que as razões para a

sua inclusão foram já justificadas no capítulo anterior. Com a inclusão destes dois parâmetros, obtemos uma fórmula para o PO que é dada através da multiplicação das três parcelas:

$$PO(\text{dia } i, \text{distrito } k) = Dens_{Linhas}(k) * Dens_{Vegetação}(k) * IRI(i, k) \quad (5.4)$$

em que;

PO - Potencial de ocorrência para o dia i no distrito k

$Dens_{Linhas}$ - Densidade de linhas no distrito k

$Dens_{Vegetação}$ - Densidade de vegetação no distrito k

IRI - Valor do Índice de Risco de Incêndio obtido para o dia i no distrito k

Com a fórmula atrás descrita obtemos então a modelização do PO de falhas devido a incêndio para o todo o mapa distrital com uma discriminação diária e contemplando todos os factores considerados intervenientes na ocorrência deste tipo de falhas, desde a presença das linhas e da vegetação no distrito até à forma como variam os factores atmosféricos contemplada na fórmula do Índice de Risco de Incêndio.

De realçar que com a utilização desta fórmula obtemos como resultado uma matriz de 18 colunas, correspondentes aos 18 distritos, por 365 linhas que correspondem aos dias do ano.

5.3. Potencial de ocorrência de falhas devido a cegonhas

5.3.1. Caracterização de falhas

No caso do PO de falhas devido a cegonhas, o método de modelização foi diferente do apresentado no caso anterior devido ao modo diferente como, quer temporalmente quer geograficamente, se pode manifestar uma possível falha devido à colisão de cegonhas com as linhas. Mais concretamente, parâmetros como a densidade de linhas e a densidade de vegetação não foram utilizados devido ao facto de não haver uma correspondência entre estes dois parâmetros e as ocorrências das falhas. De facto, não fazia sentido, em primeiro lugar, entrar com a densidade de vegetação para a modelização do PO pois a vegetação não tem relevância necessária na contribuição para a ocorrência de falhas que justificasse o seu uso. É um facto de que as cegonhas se encontram em zonas geográficas onde coexiste vegetação mas o mesmo também é verdade para zonas de pouca ou até nenhuma vegetação, como zonas urbanas. São factores como as variáveis atmosféricas que constituem um factor preferencial para este tipo de aves aquando da sua escolha para o local do ninho. O uso do parâmetro da densidade de vegetação estaria a favorecer determinadas zonas com maior presença de vegetação em detrimento de outras com menor densidade quando é possível que a presença de cegonhas se verifique em ambos os tipos de zona.

A não inclusão da densidade de linhas na modelização do PO, pode até parecer mais estranho, mas de facto a utilização deste parâmetro induz erros na probabilidade que se obtêm para a ocorrência deste tipo de falhas. De facto, analisando a lista de falhas da REN,

através de uma análise em ArcGIS em tudo semelhante à efectuada aquando da modelização do PO de falhas devido a incêndios no subcapítulo anterior, foi possível apresentar a figura seguinte que representa o número de falhas por distrito

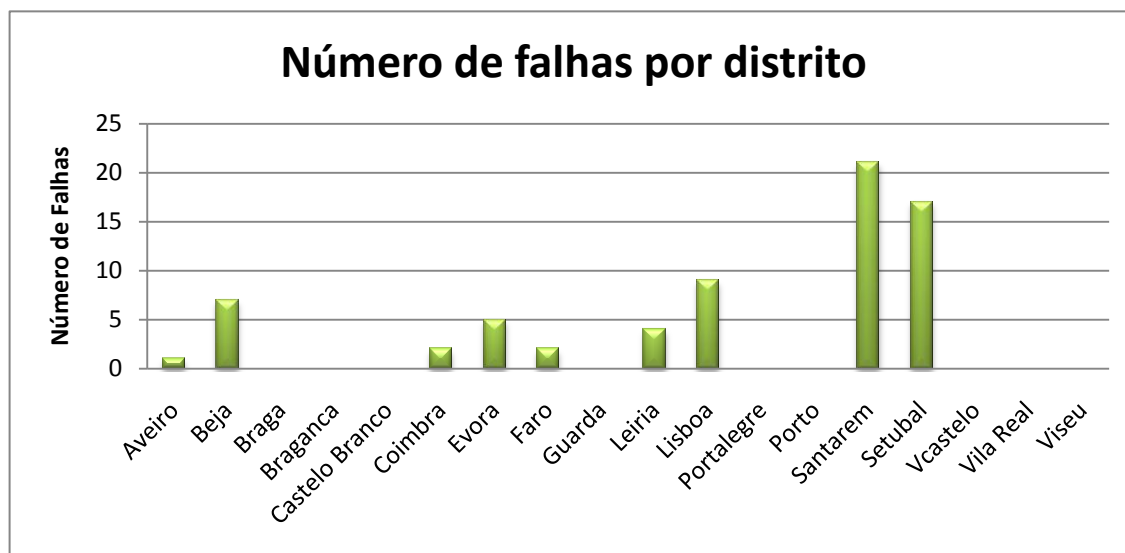


Figura 5.8 - Número de falhas devido a cegonhas por distrito

Pela análise do gráfico é possível verificar, claramente, que há dois distritos, Santarém e Setúbal que registam um grande número de ocorrências de falhas. Logo a seguir a estes dois distritos, em número total de ocorrências registadas, estão os distritos de Lisboa, Beja e Évora. Apesar de, geograficamente, estes distritos estarem próximos uns dos outros, o que por si só já seria uma justificação para a ocorrência de falhas devido a cegonhas, há uma grande diferença entre eles no que diz respeito à densidade de linhas. De facto, se recuarmos umas páginas até à tabela 4.3 no subcapítulo 4.8, onde é possível observar os resultados obtidos para a densidade de linhas, verificamos que, para os distritos de Lisboa e Setúbal, a densidade de linhas é, relativamente aos restantes distritos, superior, e, no caso dos distritos de Beja, Évora e Santarém, são distritos cuja densidade de linhas é dos valores mais reduzidos. Principalmente no caso dos distritos de Santarém e Setúbal, que são os distritos que mais falhas registam, há entre os dois uma grande diferença em relação à densidade de linhas: $0,0919 \text{ km/km}^2$ para Santarém e 0.1879 km/km^2 para Setúbal, sendo que foi em Santarém, de entre os dois o de menor densidade de linhas, que mais falhas registou. É devido a este facto que o parâmetro da densidade de linhas não foi utilizado na modelização do PO para falhas devido a cegonhas.

De realçar ainda o número de falhas registadas no distrito de Lisboa em comparação com o número de ninhos do mesmo distrito apresentado na figura 4.4 na página 28 que, relativamente ao distritos onde ocorreram um maior número de falhas, é bastante inferior. Isto demonstra bem o carácter pouco exacto em termos da relação entre o número de ninhos e o número de falhas num mesmo distrito. No caso concreto de Lisboa, apesar de existir um número reduzido de ninhos de cegonhas, a proximidade a distritos com maior quantidade de ninhos origina uma influência por parte destes que se reflecte no número de falhas registadas neste distrito.

Ao invés do uso da densidade de linhas e da densidade de vegetação, é utilizado um novo parâmetro: densidade de ninhos. Com base na informação recolhida no documento relativo ao “*V Censo Nacional de Cegonha-Branca*”, já referido no subcapítulo 4.4, foi possível obter uma contagem, em termos de número de ninhos por distrito, sendo que esta análise foi já exposta no mesmo subcapítulo referenciado. A densidade de ninhos de um distrito é, ao contrário da densidade de linhas e de vegetação, o parâmetro que melhor transmite a realidade envolta das falhas que ocorrem devido ao contacto de cegonhas com as linhas. De facto, não interessa o nível de vegetação de um dado distrito ou a quantidade de linhas que o mesmo tem, mas sim o nível de presença de cegonhas. Na posse da contagem oficial do número de ninhos, construi-se o parâmetro da densidade de ninhos, seguindo uma analogia similar a que fora realizado para o cálculo da densidade de linhas e de vegetação: realizar o quociente entre o número de ninhos e a área do distrito. Isto responde à necessidade fundamental de que, quanto maior o número de ninhos maior deverá ser a probabilidade de ocorrer uma colisão entre uma cegonha e uma linha. Seguindo este processo, obtemos a seguinte tabela com os resultados:

Tabela 5.1 - Tabela com a densidade de ninhos por distrito

	AREA	NUM_NINHOS	DENS_NINHOS
	(km ²)	(número)	(ninhos/km ²)
AVEIRO	2773.601	1669.05	0.601763
BEJA	10228.710	4831.96	0.472392
BRAGA	2704.666	1594.75	0.589629
BRAGANÇA	6623.760	4165.00	0.628797
C BRANCO	6594.050	4747.06	0.719901
COIMBRA	3934.219	2851.29	0.724741
EVORA	7379.480	4011.00	0.543534
FARO	4988.502	3215.23	0.644528
GUARDA	5548.680	3761.35	0.677882
LEIRIA	3473.307	2234.83	0.643430
LISBOA	2699.617	866.29	0.320894
PORTALEGRE	6086.780	3373.82	0.554287
PORTO	2281.991	1119.81	0.490716
SANTAREM	6717.035	4097.32	0.609989
SETUBAL	4924.301	3114.76	0.632528
VIANA CASTELO	2195.020	1562.86	0.712003
VILA REAL	4328.912	3072.91	0.709857
UISEU	4990.339	3562.45	0.713869

Temos então, na primeira coluna de números, mais uma vez, a área de cada distrito, seguido da coluna com o número total de ninhos presentes no distrito e na última coluna o valor da densidade de ninhos, obtido com o quociente entre as duas primeiras colunas. De realçar o facto da concordância entre os valores obtidos e os distritos que mais falhas

registaram. Temos que os distritos de Setúbal com 0,2677 ninhos/km², Évora com 0,1934 ninhos/km² e Beja com 0,1930 ninhos/km² são dos distritos que mais falhas registaram e que possuem também maior densidade de ninhos, o que faz todo o sentido. O distrito de Santarém, sendo o distrito onde mais falhas ocorreram, também possui elevada densidade de ninhos, 0,1197 ninhos/km².

5.3.2. Potencial de Ocorrência

Obtido o parâmetro da densidade de ninhos, é altura de modelizar a PO de falhas devido a cegonhas. Neste caso, ao contrário do PO para falhas devido a incêndios, utilizaram-se funções de distribuição gaussiana para modelizar, para os parâmetros considerados relevantes para o PO, a frequência de ocorrência de falhas ao longo do ano em função de cada um dos parâmetros.

As funções de distribuição gaussiana são do tipo:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.5)$$

em que:

- σ - desvio padrão
- μ - média

Concretamente, utilizaram-se os seguintes factores na modelização matemática:

- Velocidade do vento
- Humidade relativa
- Influência do dia do ano

No que diz respeito ao uso das variáveis atmosféricas da velocidade do vento e da humidade relativa, a sua opção justifica-se pelo simples de constituírem elementos atmosféricos que interferem na escolha do “*habitat*” por parte das cegonhas. São os factores atmosféricos, nomeadamente, a humidade e o vento, que condicionam a presença de cegonhas numa determinada área geográfica. Para além disso, a inclusão do vento na modelização do PO está relacionada com a influência que o mesmo tem no contacto de galhos que servem de estrutura aos ninhos localizados em apoios com as linhas.

Tal como subcapítulo anterior, foram utilizados os valores médios diários por cada distrito de ambas as variáveis atmosféricas.

Influência do dia do ano

Uma das variáveis que também entra na fórmula do cálculo do potencial de ocorrência de falhas devido a cegonha é a influência da sua presença ao longo do ano em Portugal. Concretamente, como já fora dito atrás no subcapítulo 4.4, as cegonhas têm um carácter migratório estando, na sua maioria, ausentes do Continente entre os meses de Julho e Dezembro. Este intervalo de tempo está de acordo com a distribuição de falhas registada ao longo do ano pela REN que, como se pode ver no gráfico a seguir apresentado, tem uma maior incidência nos períodos entre Abril e Maio e Setembro e Outubro.

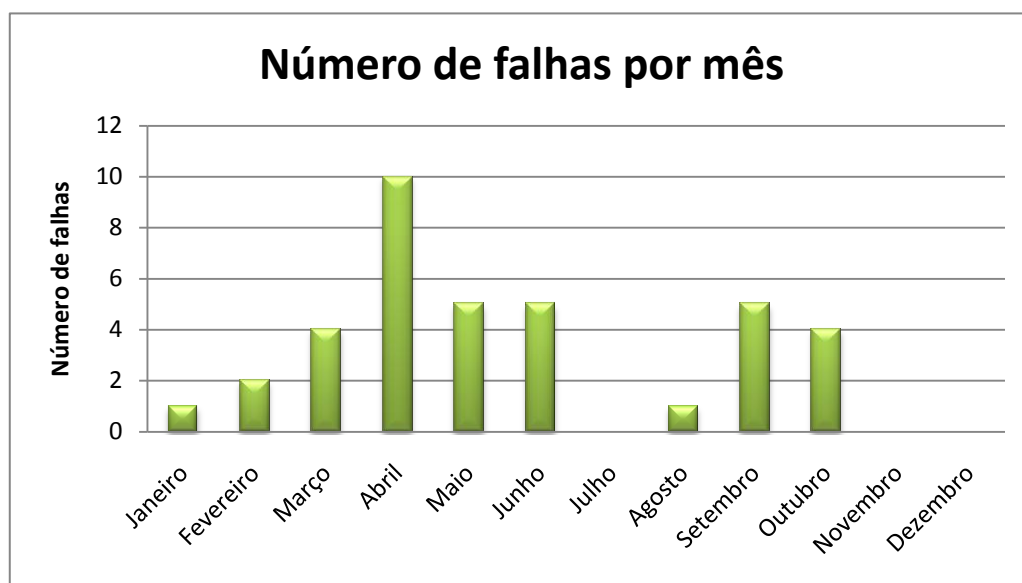


Figura 5.9 - Número de falhas devido a cegonhas por mês

Esta maior incidência de falhas registada em ambos os períodos não acontece por acaso e tem fundamento na actividade da cegonha. As falhas registadas entre Abril e Maio são devidas, em primeiro lugar, ao facto de ser época de regresso das cegonhas ao Continente, o que resulta daí uma maior frequência de voo que origina uma maior probabilidade de embate nas linhas, e em segundo lugar, imediatamente a seguir ao seu regresso, é época de reprodução e nidificação, donde resulta uma intensificação da actividade das cegonhas na construção dos ninhos, muitos deles situados nos apoios das linhas, aumentando a probabilidade de contacto das cegonhas ou galhos utilizados na construção dos ninhos com as linhas. Em relação às falhas ocorridas nos meses de Setembro e Outubro, estas são devidas essencialmente ao facto de este ser o período de migração das cegonhas, havendo uma maior actividade de voo o que, mais uma vez, eleva a probabilidade de acontecerem colisões com as linhas.

Com base neste fundamentos, e com base na fórmula dado por:

$$PO_{dia} = \frac{0,6}{\sqrt{2\pi(50)^2}} e^{-\frac{(D-100)^2}{2(50)^2}} + \frac{0,4}{\sqrt{2\pi(35)^2}} e^{-\frac{(D-270)^2}{2(35)^2}} \quad (5.6)$$

em que:

D - Número do dia do ano (1-365)

obteve-se uma parcela que procura incluir na fórmula de cálculo do potencial de ocorrência a influência que advém da maior ou menor presença de cegonhas em Portugal ao longo do ano. Por outras palavras, tendo em conta que o número de falhas por mês acompanha a maior ou menor presença de cegonhas em território português, pretende-se, com o uso de distribuições gaussianas, construir uma curva que represente esta mesma presença das cegonhas, aproximando a curva à forma como as falhas se distribuem pelos meses. Graficamente, obteve-se com a equação representada anteriormente, a seguinte distribuição ao longo dos 365 dias do ano:



Figura 5.10 - Gráfico com a influência do dia do ano na actividade das cegonhas

Conforme se pode ver, a curva obtida acompanha de forma bastante significativa a evolução do número de falhas ocorridas ao longo do ano. A primeira parcela usada na distribuição representa o maior pico que se registou nos meses de Março, Abril e Maio, e a segunda parcela descreve a presença e, consequente, ocorrência de falhas nos meses de Setembro e Outubro.

Influência da Humidade Relativa

Já no caso da influência da humidade, a fórmula utilizada foi:

$$POhr = \frac{0,4}{\sqrt{2\pi(10)^2}} e^{-\frac{(HR-40)^2}{2(10)^2}} + \frac{0,6}{\sqrt{2\pi(10)^2}} e^{-\frac{(HR-80)^2}{2(10)^2}} \quad (5.7)$$

em que:

HR - Humidade relativa média diária do vento

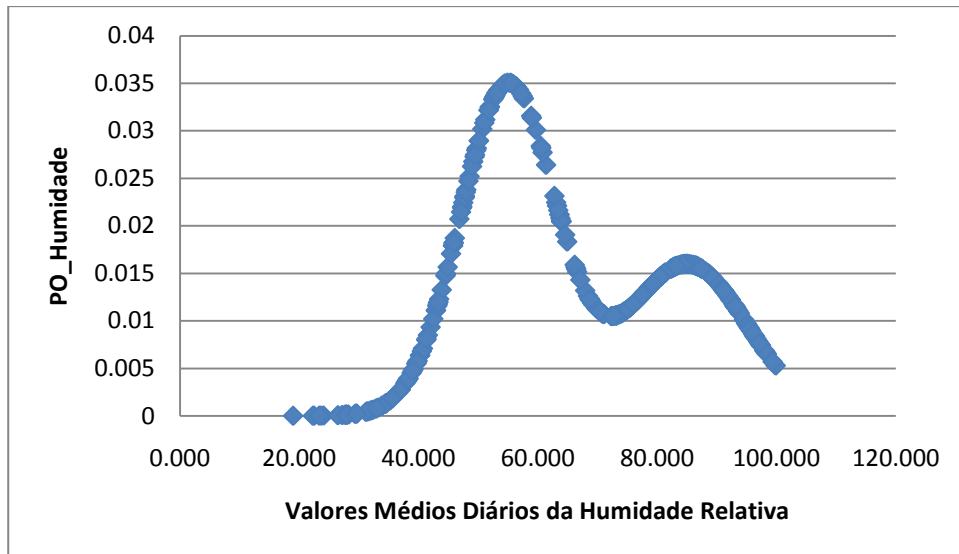


Figura 5.11 - Curva para a contribuição da humidade na modelização do Potencial de Ocorrência de falhas devido a cegonhas

Influência do Vento

Seguindo o raciocínio análogo temos para a influência do vento, a função seguinte:

$$PO_v = \frac{1}{\sqrt{2\pi(3)^2}} e^{-\frac{(V-10)^2}{2(3)^2}} \quad (5.8)$$

em que:

V - Velocidade média diária do vento

Com as parcelas da influência do vento, influência da humidade, influência do dia do ano e densidade de ninhos calculadas, estão reunidas as condições para se proceder a modelização da equação final que assume a seguinte forma:

$$PO_{cegonhas} = PO_{vento} * PO_{humidade} * Influencia_{dia\ do\ ano} * Dens_{Ninhos} \quad (5.9)$$

É com base nesta fórmula que se obtêm, para cada distrito e para cada dia do ano, os valores que traduzem o potencial de ocorrência de falha devido à presença e/ou colisão de cegonhas com as linhas da rede de transporte.

De realçar que estes valores vêm, tal como no caso anterior, dispostos numa matriz de 18 colunas, correspondentes aos 18 distritos, por 365 linhas que correspondem aos dias do ano.

5.4. Potencial de ocorrência de falhas devido a descargas atmosféricas

Na modelização da fórmula para o PO de falhas devido a descargas atmosféricas optou-se apenas por utilizar apenas variáveis atmosféricas, pois são as estas que, acima de quaisquer outros factores, constituem os elementos que estão na base da formação de descargas atmosféricas. Parâmetros como a densidade de vegetação ou densidade de linhas não foram utilizados nesta modelização sob risco de estar a entrar com erros na modelização à semelhança do que aconteceria na modelização do PO para falhas devido a cegonhas se fosse incluído a densidade de linhas nas fórmulas utilizadas.

Tal como fora feito no PO para falhas devido a incêndios, na construção da fórmula para o PO, houve um correlacionamento entre as variáveis atmosféricas e resultado que as mesmas assumiam e, consequentemente, o valor que o PO assumia nos dias em que realmente ocorreram falhas. Para isso foram utilizados as datas, horas e nomes das linhas que constam no registo de falhas da REN em que as falhas devido a descargas atmosféricas ocorreram. Mais uma vez, através do ArcGIS, foi possível saber em que distritos ocorreram as falhas sendo que o gráfico a seguir mostra essa mesma distribuição.

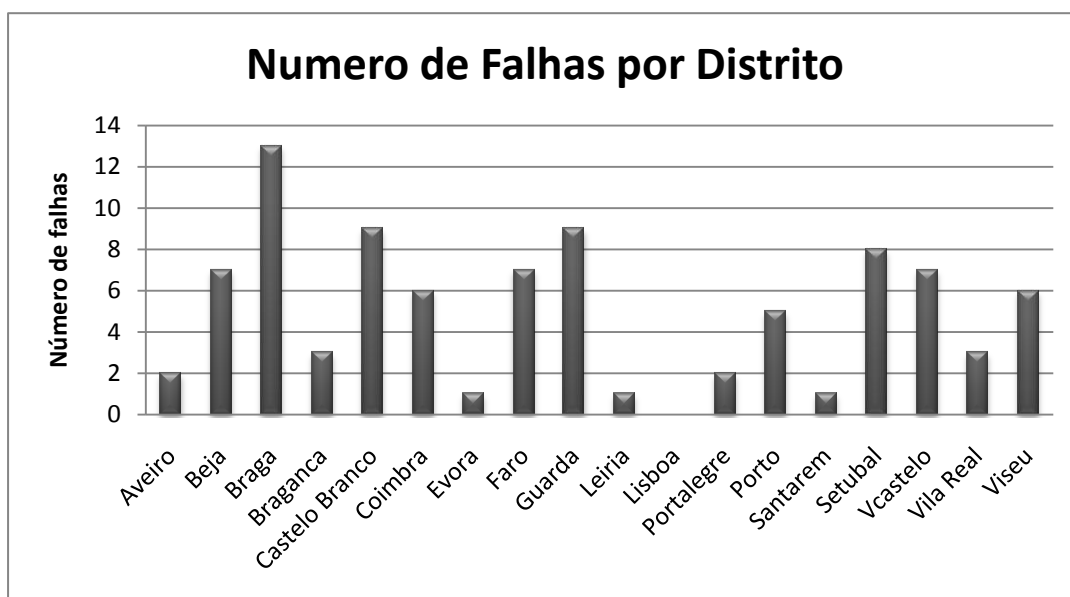


Figura 5.12 - Número de falhas devido a descargas atmosféricas por distrito

A avaliação da distribuição geográfica das falhas não é tão acessível como nos casos anteriores, na medida em que, no conjunto dos distritos com maior registo de falhas constam distritos que, geograficamente, não são próximos uns dos outros. De facto, os distritos de Braga, Castelo Branco, Guarda e Setúbal são os distritos em que mais falhas ocorreram sendo que, geograficamente, apenas Castelo Branco e Guarda são próximos entre si. Chegamos à mesma conclusão se olharmos para os distritos onde menos falhas ocorrem, verificando que

estamos a referir-nos a distritos como Leiria ou Santarém que, mais uma vez, geograficamente, não são próximos entre si. Para além das diferenças nas ocorrências ao nível geográfico, as mesmas não partilham entre os vários distritos, aspectos em comum, como acontecia nos casos anteriores, como a densidade de ninhos no PO devido a cegonhas ou a densidade de vegetação no PO devido a incêndios.

Também é possível fazer a análise da distribuição das falhas ao longo do ano como sugere o gráfico a seguir apresentado:

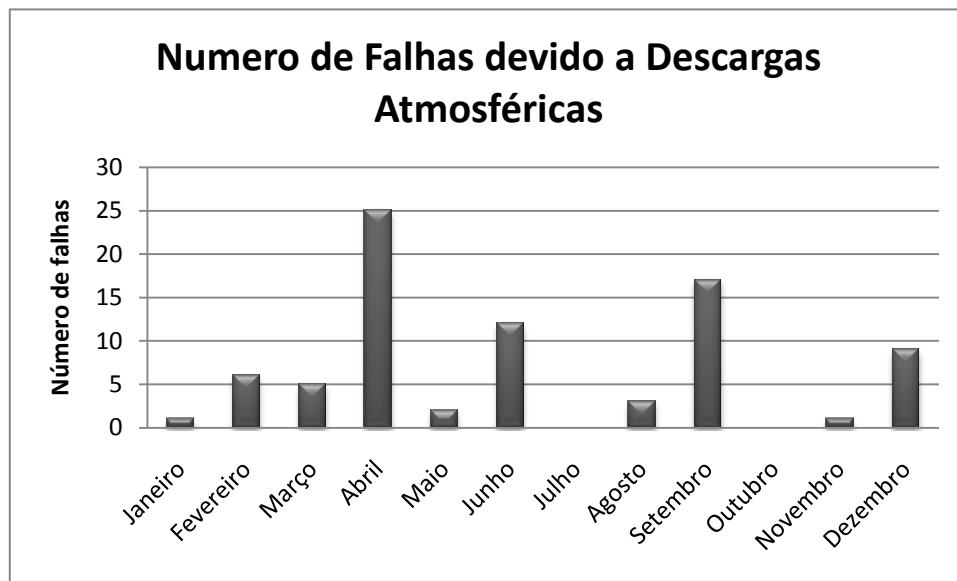


Figura 5.13 - Número de falhas devido a descargas atmosféricas por mês

Tal como na distribuição geográfico das falhas, também aqui não é fácil encontrar uma correlação entre o momento temporal em que ocorrem as falhas e o número de falhas que se verifica. De facto, há registo de um número elevado de falhas nos meses de Abril, Junho e Setembro, sendo que não há, explicitamente, um factor em comum entre estes meses que sugira o porquê da ocorrência de um número tão elevado de falhas derivadas da ocorrência de descargas atmosféricas.

Contudo, por outro lado, sabemos que são as variáveis atmosféricas que contribuem para a ocorrência destas falhas pois são elas as responsáveis pela formação de descargas atmosféricas. As variáveis atmosféricas utilizadas foram:

- Temperatura
- Velocidade do vento
- Humidade relativa
- SWEAT Index

De realçar que no uso destas variáveis, já está implícito o uso do SWEAT Index, que como já fora explicado no capítulo anterior, constitui um índice de previsão para a ocorrência de tempestades, trovoadas e tornados, o que vem trazer maior fiabilidade a esta modelização.

Para além do uso das variáveis atmosféricas, esta modelização difere das anteriores pelo facto de se utilizar, para as variáveis, valores horários ao invés de valores médios diários. A razão desta opção prende-se com o facto de que a ocorrência ou não de descargas atmosféricas está intimamente relacionada com a variação dos restantes valores das variáveis atmosféricas, sendo que estas, têm uma variação horária considerável ao longo das 24h de um dia no que diz respeito à sua predisposição para a formação de descargas atmosféricas, daí que a utilização de valores médios diários, tal como fora realizado no caso do PO devido a incêndios e devido a cegonhas, não providenciava uma representação fiável da realidade.

Tal como fora feito na modelização do Índice de Risco de Incêndio, foi também construído uma fórmula para o PO devido a descargas atmosféricas em que os valores horários das variáveis atmosféricas são multiplicados por parâmetros que são determinados com base nas dependências entre cada uma das variáveis e o estimador criado. A equação para o qual se pretende determinar os parâmetros é descrita por:

$$PO_{trovoadas}(h) = a + b * V(h) - c * T(h) + d * HR(h) + SW(h) \quad (5.10)$$

em que;

$V(h)$ - Valor horário da velocidade do vento

$HR(h)$ - Valor horário da humidade relativa

$T(h)$ - Valor horário da temperatura

$SW(h)$ - Valor horário do sweat index

a, b, c, d - parâmetros

Foi com base no uso da dependência entre os valores horários entre as variáveis atmosféricas e no correlacionamento entre esses valores e o resultado que se obtinha para o PO para as datas e horas das falhas ocorridas nos distritos de Braga, Guarda e Setúbal que se construiu a fórmula para o PO para falhas devido a descargas atmosféricas.

As dependências que se verificaram entre as variáveis atmosféricas e o estimador criado são descritas nos gráficos seguintes:

SWEAT Index



Figura 5.14 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e o SWEAT Index

Velocidade do Vento

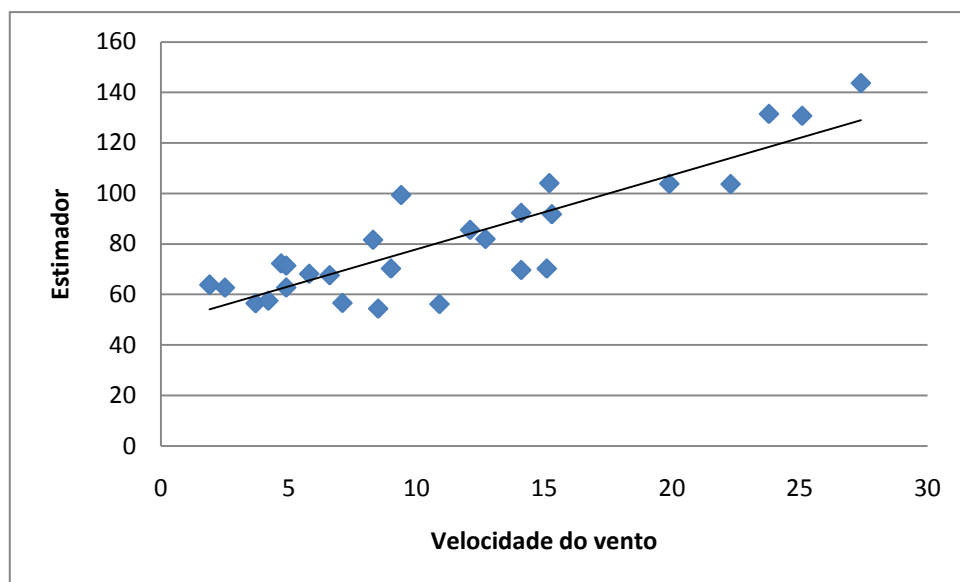


Figura 5.15 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a velocidade do vento

Temperatura

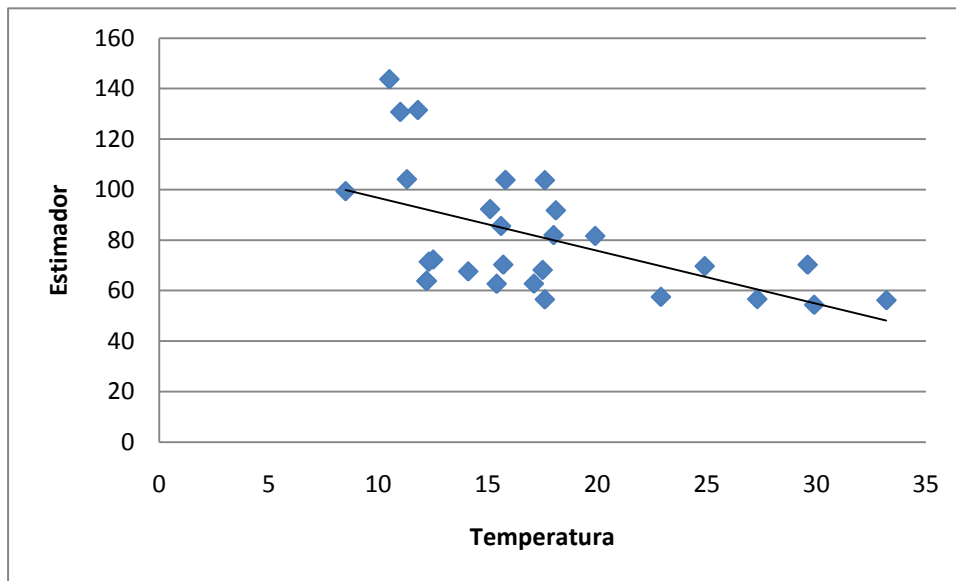


Figura 5.16 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a temperatura

Humidade relativa

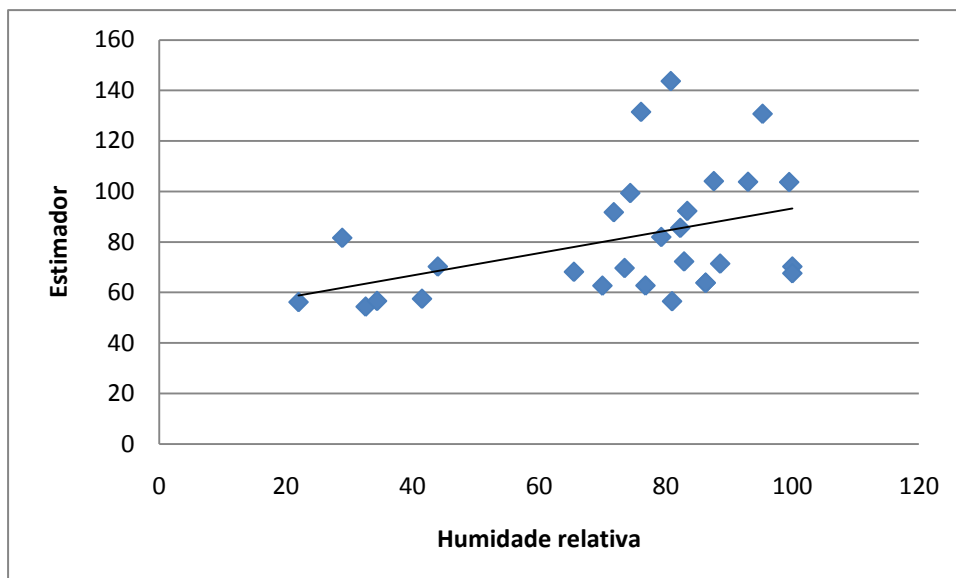


Figura 5.17 - Dependência entre o estimador da ocorrência de descargas atmosféricas e a humidade relativa

Conforme se pode ver pelos gráficos, de facto existe uma dependência entre a ocorrência de descargas atmosféricas e diversas variáveis atmosféricas. Essa dependência é bastante notória nos gráficos que incluem a sua dependência em relação aos valores do índice de tempestade e da velocidade do vento.

Comprovada a dependência, procede-se à determinação valor ideal dos parâmetros que melhor representam a potencialidade de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas. Esta determinação é feita através da minimização do erro entre o estimador e o SWEAT Index para as horas em que ocorreram falhas, através da ferramenta *Solver* no Excel.

Obteve-se a seguinte equação para o PO devido a descargas atmosféricas:

$$PO_{trovoada}(h) = 120,497917 + 2,87839.V(h) - 2,652465.T(h) + 0,34470.HR(h) + SW(h) \quad (5.11)$$

É com base na fórmula apresentada que se obtêm os valores que indicam a potencial ocorrência de falhas devido à formação de descargas atmosféricas, valores esses que são obtidos para os 18 distritos e com uma distribuição horária.

De realçar que com a utilização desta fórmula, ao contrário dos dois casos anteriores, obtemos como resultado uma matriz de 18 colunas, correspondentes aos 18 distritos, por 365x24 linhas que correspondem às várias horas ao longo do ano.

5.5. Potencial de ocorrência de falhas devido ao vento

Neste subcapítulo procede-se à modelização do PO para falhas devido ao vento. É de todas as modelizações a mais simples dado ser perceptível quais os parâmetros que influenciam este tipo de falhas. Tal como referido anteriormente, as falhas vento ocorrem, essencialmente devido ao desprendimento das linhas dos apoios devido a ventos fortes ou ao contacto de ramos e galhos soltos das árvores que, devido a velocidades de ventos superiores ao normal, entram em contacto com as linhas originando a falha das mesmas.

Tendo em conta as razões que levam à ocorrência deste tipo de falhas, é perceptível que o parâmetro da densidade de linhas tem influência na probabilidade de ocorrência, pelo simples motivo de que, por mais elevada que seja a velocidade do vento, se não existirem linhas no distrito onde se manifesta o vento, não haverá qualquer falha. Alias, esta tem vindo a ser a análise feita para o uso do parâmetro da densidade de linhas nos casos anteriores. Em relação ao contacto de ramos com as linhas, leva-nos, novamente, ao uso do parâmetro da densidade de vegetação, uma vez que este motivo acontece com maior frequência em relação ao desprendimento das linhas.

Para além da densidade de linhas e densidade de vegetação, utilizou-se ainda a velocidade do vento. A fórmula obtida é dado por:

$$PO_{vento} = Vento * Dens_{Linhas} * Dens_{Vegetação} \quad (5.12)$$

De referir que, tal como feito no caso das descargas atmosféricas, não se utilizou o valor médio da velocidade do vento, mas sim o valor horário, obtendo-se assim, resultados horários para cada distrito. A razão para isto prende-se com o facto de que a velocidade do vento, ao longo das 24 horas de um dia, pode sofrer variações bastante significativas em intervalos pequenos de horas, sendo que o valor médio não reflectiria estas variações e não traduziria a realidade.

De realçar que com a utilização desta fórmula, à semelhança do resultado obtido para o PO devido ao vento, uma matriz de 18 colunas, correspondentes aos 18 distritos, por 365x24 linhas que correspondem às várias horas ao longo do ano.

Capítulo 6

Modelização do Índice de Previsão de Falha

Neste capítulo pretende-se com base nas fórmulas obtidas no capítulo anterior para os diversos Potenciais de Ocorrência efectuar um cruzamento de cada um deles com as falhas que realmente ocorreram. Este cruzamento de informação tem por objectivo reforçar a fiabilidade dos resultados que se obtêm com o uso das fórmulas descritas anteriormente, evidenciando e reforçando a potencialidade de num dado distrito, detentor de elevado valor de Potencial de Ocorrência num dado dia ou hora do ano, vir a acontecer uma falha numa linha de transporte, tendo em conta, que nesse mesmo distrito, já se registaram anteriormente uma ou mais falhas.

Este cruzamento de informação entre os Potenciais de Ocorrência e as falhas ocorridas é realizado com base no comprimento parcial em cada distrito de uma determinada linha afectada por uma falha de origem atmosférica. O uso do comprimento parcial advém do facto de que, um maior ou menor valor do mesmo evidencia uma maior ou menor probabilidade da falha, que afecta toda a linha, ter ocorrido no distrito que contém toda ou a maior parte do comprimento total da linha.

6.1. Comprimentos de linhas afectadas

Com o objectivo de efectuar a efectuar o cruzamento de informação entre os PO para as várias causas e as falhas que ocorreram, com base no comprimento de linha afectada inculda nos vários distritos, torna-se necessário a obtenção, para cada falha, para as quais é conhecido o nome da linha onde a mesma ocorreu, do comprimento da linha afecto a cada distrito. Para tal, foi utilizado, mais uma vez, o software ArcGIS, onde, através da sobreposição do mapa de concelhos com o traçado das linhas e, com a selecção, de linha a linha, das linhas afectadas, foi possível obter o comprimento parcial de cada linha afectada. O processo é análogo ao anteriormente utilizado aquando da obtenção do parâmetro da

densidade de linhas. Há lugar à selecção da linha afectada, seguido da selecção dos distritos onde a mesma está presente e a separação da linha em segmentos de recta, tantos quanto o número de distritos pelos quais atravessa. A medição, através da ferramenta “Length” dá-nos o valor do comprimento de cada um desses comprimentos, que não são mais do que o comprimento parcial da linha em cada distrito.

De forma a exemplificar este processo, a tabela a seguir apresenta representa um extracto da lista de falhas da REN relativo às falhas ocorridas devido a incêndios.

Tabela 6.1 - Lista de falhas ocorridas devido a incêndios

DATA	HORA	TENSAO	LINHA AFECTADA		COMPRIMENTO
27-07-10	15:45:28	400	Recarei	Lavos	133.2
28-07-10	19:17:19	220	Pereiros	Tabua	40.6
28-07-10	18:45:14	400	Recarei	Paraimo	85.3
28-07-10	18:38:35	400	Recarei	Paraimo	85.3
30-07-10	17:33:24	150	Riba de Ave	Ermesinde 4	33.2
04-08-10	17:02:57	150	Caniçada	Vila Fria 1	46.7
05-08-10	16:10:46	220	Pocinho	Lagoaça 1	41.3
05-08-10	15:08:36	220	Picote	Lagoaça 1	39.4
08-08-10	18:36:42	150	Tabuaço	Régua	16.9
11-08-10	20:42:54	220	Chafariz	Vila Cha 1	34.5
14-08-10	02:42:23	220	Chafariz	Vila Cha 1	34.5
29-08-10	06:39:04	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
30-08-10	12:36:25	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
30-08-10	12:38:18	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
30-08-10	12:52:20	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
30-08-10	13:29:28	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
30-08-10	13:45:12	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0
06-09-10	06:47:45	220	Vila Pouca de Aguiar	Valdigem	45.0

É com base neste registo de falhas, onde é conhecido a linha onde ocorreu cada uma das falhas e o respectivo comprimento em quilómetros, e nas restantes relativas às outras causas, que se procede à medição do comprimento parcial da linha afectada por distrito.

Para cada linha afectada, é medido, em ArcGIS, o comprimento da linha afecta a cada distrito, comprimento esse que é depois dividido pelo comprimento total de todas as linhas presentes no distrito pela qual atravessa. Os comprimentos totais das linhas afectas a cada um dos distritos foram já apresentados aquando do cálculo da densidade de linhas e podem ser vistos na tabela 4.3 no subcapítulo 4.8. Por outros, o raciocínio aqui utilizado segue a seguinte equação para cada linha afectada:

$$FC_{(linha\ i, distrito\ k)} = \frac{\text{Comprimento parcial da linha } i \text{ no distrito } k}{\text{Comprimento total de todas as linhas no distrito } k} \quad (6.1)$$

em que;

FC - Fracção do comprimento da linha i afectada no distrito k

A título de exemplo, a tabela a seguir apresentada mostra, para as falhas registadas nas linhas de Recarei - Lavos e Recarei - Paraimo, os resultados obtidos, nos distritos afectos a cada uma das linhas, para a fracção de linha afectada em relação ao comprimento total de linhas existentes nesses mesmos distritos.

Tabela 6.2 - Exemplo de resultados obtidos para comprimento de linhas afectadas

LINHA AFECTADA		DISTRITOS AFECTADOS		
		Aveiro	Coimbra	Porto
Recarei	Lavos	0.152249	0.09214	0.020565
Recarei	Paraimo	0.160139		0.026805

Para melhor interpretação, podemos dizer que, em valores percentuais, a falha ocorrida na linha Recarei - Lavos afectou, cerca de 15% do total de quilómetros de linha existentes no distrito de Aveiro, cerca de 9% no distrito de Coimbra e aproximadamente, 2% no distrito do Porto. A conclusão que se retira daqui é que, há uma maior probabilidade da falha ter ocorrido, neste caso devido a incêndio, no distrito de Aveiro visto que é neste distrito que atravessa a maior parte da linha. No caso da linha Recarei - Paraimo, a falha registada afecta cerca de 16 % do total do comprimento de linhas existentes em Aveiro e cerca de 2% no distrito do Porto. Mais uma vez, também nesta falha, há uma forte probabilidade da falha ter ocorrido no distrito de Aveiro, tendo em conta o valor residual obtido para o distrito do Porto que indica que apenas uma pequena parcela do comprimento total da linha está contida neste distrito.

De realçar um facto, se analisarmos com atenção a lista de falhas apresentada na tabela 6.1 verificamos que há falhas que ocorrem no mesmo dia e na mesma linha, como no caso da linha Recarei - Paraimo que regista duas falhas, ambas no dia 28-07. Para estes casos, optou-se por somar para os distritos afectados as duas porções de linha afectada que resultam do uso da equação 6.1. Na tabela 6.2, os resultados obtidos para esta linha são já os resultados obtidos relativos à ocorrência de uma falha nesta linha multiplicados por dois. Com isto pretende-se não deixar escapar a ocorrência de duas falhas num mesmo dia, independentemente de serem na mesma linha ou não, o que origina que, para um mesmo dia, possam haver vários distritos afectados.

De referir ainda que, a execução deste procedimento origina, como produto final, a obtenção, para as falhas ocorridas devido a incêndios e à presença de cegonhas, duas matrizes ambas com 18 colunas relativas aos 18 distritos e 365 linhas referentes aos vários dias do ano, e para as falhas devido a descargas atmosféricas e ao vento, duas matrizes de 10 colunas e 365x24 referentes a todas as horas de um ano. Todas as células destas quatro matrizes, nos dias e/ou horas em que houve registo de falhas são preenchidos com o respectivo valor da fracção da linha afectada e as restantes células são preenchidas com valor nulo.

6.2. Sigmoides

6.2.1. Introdução

Obtidas as fracções correspondentes, para todas as falhas registadas, ao comprimento de linha afectado em cada distrito, há então lugar ao cruzamento dos valores que se obtêm com o uso das fórmulas dos quatro potenciais de ocorrência relativos às quatro causas, com os valores obtidos para as fracções dos comprimentos de linha afectados.

Este cruzamento é realizado com base em funções sigmoide, função esta que tem a particularidade de poder assumir valores entre 0 e 1, intervalo de valores este ideal para representar valores probabilísticos. Para além disso, a função sigmoide tem a vantagem de responder bem à não linearidade que caracteriza algumas das funções utilizadas na modelização dos potenciais de ocorrência. A figura apresentada a seguir demonstra a curva típica de uma função sigmoide, semelhante à forma de um “S” alongado.

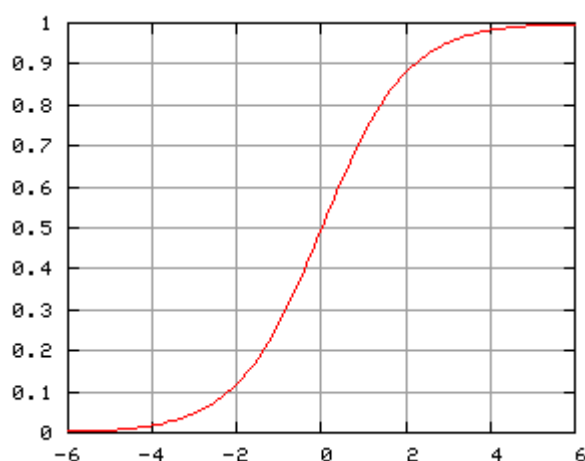


Figura 6.1 - Curva típica de uma função sigmoide

Na aplicação desta função ao trabalho desenvolvido até então, é aplicado, para cada causa e para cada distrito individualmente, uma relação entre os valores obtidos através do potencial de ocorrência verificado para um determinado distrito, valores esses que preenchem o eixo dos xx, e os resultados obtidos para as fracções dos comprimentos de linha afectados no mesmo distrito, valores estes que preenchem o eixo dos yy. Obtida esta correlação, procede-se à parametrização da função sigmoide que utiliza, como variável independente, os valores resultantes do potencial de ocorrência, de forma a aproximar a curva obtida à dispersão de pontos obtidos.

6.2.2. Exemplo das ocorrências de incêndio para o distrito de Guarda

De seguida demonstra-se um exemplo da aplicação deste raciocínio para as falhas ocorridas no distrito de Guarda devido à ocorrência de incêndios.

Tal como explicado no capítulo “Potencial de Ocorrência”, na utilização da fórmula modelizada para o potencial de ocorrência de incêndios, obtém-se como resultado final uma matriz de 365 x 18 (365 linhas de dias do ano por 18 distritos). Desta matriz retiramos o vector coluna relativa ao distrito de Guarda, um vector coluna com 365 linhas que correspondem a 365 células referentes aos dias do ano preenchidas com resultados que indicam a maior ou menor probabilidade de ocorrência de um incêndio.

Posteriormente, através do registo de falhas ocorridas devidas à mesma causa para o mesmo distrito obtém-se, através do uso da equação 6.1, as fracções do comprimento de linha afectado para cada falha ocorrida dando origem também a um vector coluna com 365 linhas, correspondentes aos 365 dias do ano, preenchidas ora por um valor nulo nos dias em que não houve falha, ora por um valor que representa a porção do total de quilómetros de linha afectados.

Para o vector coluna com os valores obtidos para o PO, estes são associados num vector coluna de 10 linhas onde se procede à separação dos resultados do PO em 10 intervalos de valores crescentes, ou por outras palavras, procede-se a uma classificação da escala de valores do PO de acordo com o seguinte modelo:

Para a primeira linha:

$$Valor\ 1 = \frac{1*Valor\ Maximo\ [PO(incendios)]}{10} \quad (6.2)$$

Ou seja, ao maior valor encontrado para o PO no distrito de Guarda, este é multiplicado por n, valor correspondente ao número do intervalo, e dividido por 10. No fundo, obtemos desta forma a décima parte relativa ao maior valor encontrado. Para a segunda linha temos:

$$Valor\ 2 = \frac{2*Valor\ Maximo\ [PO(incendios)]}{10} \quad (6.3)$$

e assim sucessivamente até ao décimo valor do vector coluna que será igual ao valor máximo presente no vector coluna do PO obtido para o distrito de Guarda de acordo com a fórmula:

$$Valor\ 10 = \frac{10*Valor\ Maximo\ [PO(incendios)]}{10} \quad (6.4)$$

Obtêm-se com este processo a seguinte tabela:

Tabela 6.3 - Classificação dos valores do Potencial de Ocorrência devido a incêndios para o distrito de Guarda

Intervalo	PO (Guarda)
V1	1.79549E-05
V2	3.59097E-05
V3	5.38646E-05
V4	7.18194E-05
V5	8.97743E-05
V6	0.000107729
V7	0.000125684
V8	0.000143639
V9	0.000161594
V10	0.000179549

Temos então na tabela, o agrupamento dos valores do PO devido a incêndios para o distrito da Guarda, em 10 intervalos, dispostos por ordem crescente. De referir que V1 corresponde ao *Valor1* anteriormente calculado e V2 corresponde ao *Valor2* e assim sucessivamente.

Realizado este reagrupamento dos valores, procede-se à contabilização das fracções dos comprimentos de linha afectados. Estes vão ser, também eles, reagrupados num vector coluna de 10 células de acordo com o valor do PO registado no dia da ocorrência da falha. Este passo tem por fundamento o facto de que, para um maior potencial de ocorrência, maior deverá ser a fracção de linhas afectadas. Por outras palavras, de acordo com o esperado no uso deste método, maiores valores de PO sugerem maiores probabilidades de ocorrência de incêndios que, consequentemente, deverão corresponder, quando ocorridas, a um maior número de falhas. Como as falhas estão contabilizadas em forma da fracção de quilómetros afectados em relação ao total de quilómetros de linha no distrito, para maiores valores de PO é esperado maiores valores de fracções de linhas afectadas.

Seguindo este raciocínio, o agrupamento dos valores das linhas afectadas é feito da seguinte forma:

Para cada conjunto de dias que respeita a seguinte equação:

$$V1 < PO < V2 \quad (6.5)$$

equação que traduz o intervalo de valores do PO compreendidos entre V1 e V2, temos que:

$$Ocorrências = \frac{\sum FC}{\sum N^o \text{ de dias}} \quad (6.6)$$

equação que realiza o quociente entre a soma das fracções de linha afectadas nesses mesmos dias e o número de dias em que o PO estava compreendido entre V1 e V2

Este quociente é realizado com vista a desvalorizar eventuais falhas que acontecerem em dias em que o valor do PO não era significativo o suficiente para representar um risco de falha e, também para obter o efeito contrário, isto é, valorizar as falhas que ocorreram em maior número e em dias em que o valor do PO era alto. De facto, para um intervalo de valores do PO em que os valores eram pouco significativos, o quociente entre a fracção de linhas afectadas devido à ocorrência de uma ou duas falhas pelo número de dias em que se verificaram esses mesmos valores do PO originará um valor inferior, comparativamente ao resultado que se obtêm do quociente, para um intervalo de valores do PO mais elevado. Isto porque, o número total de dias em que se verificam valores elevados do PO é inferior e a fracção de linhas afectadas é superior.

Raciocínio análogo é realizado para os valores de PO compreendidos entre:

$$V2 < PO < V3$$

até ao último intervalo de valores compreendidos entre:

$$V9 < PO < V10$$

obtendo-se desta forma o seguinte resultado global para o distrito de Guarda:

Tabela 6.4 - Reagrupamento global dos valores de Potencial de Ocorrência devido a incêndios e de comprimentos de linha afectados

Intervalo	PO (Guarda)	Ocorrências
1	1.79549E-05	0
2	3.59097E-05	0
3	5.38646E-05	0
4	7.18194E-05	0.01462308
5	8.97743E-05	0
6	0.000107729	0
7	0.000125684	0
8	0.000143639	0
9	0.000161594	0.03083333
10	0.000179549	0

Conforme se pode avaliar pelos resultados obtidos, e sabendo que ocorreram, ao longo de todo o ano, três falhas no distrito de Guarda devido a incêndios, temos então na segunda coluna os valores crescentes do Potencial de Ocorrência e na terceira coluna as fracções de linha afectada e, como se pode ver, para valores crescentes do PO, maiores são os valores obtidos para a coluna das ocorrências. No intervalo 4 está registada uma das três falhas registadas neste distrito que, eventualmente, ocorreu num dia em que o PO não

relativamente significativo. No intervalo 9, que contem valores altos do PO, estão as restantes duas ocorrências registadas. É com base nesta tabela que se constrói um gráfico como o apresentado a seguir com a dispersão dos valores das ocorrências em relação ao valor crescente do PO.

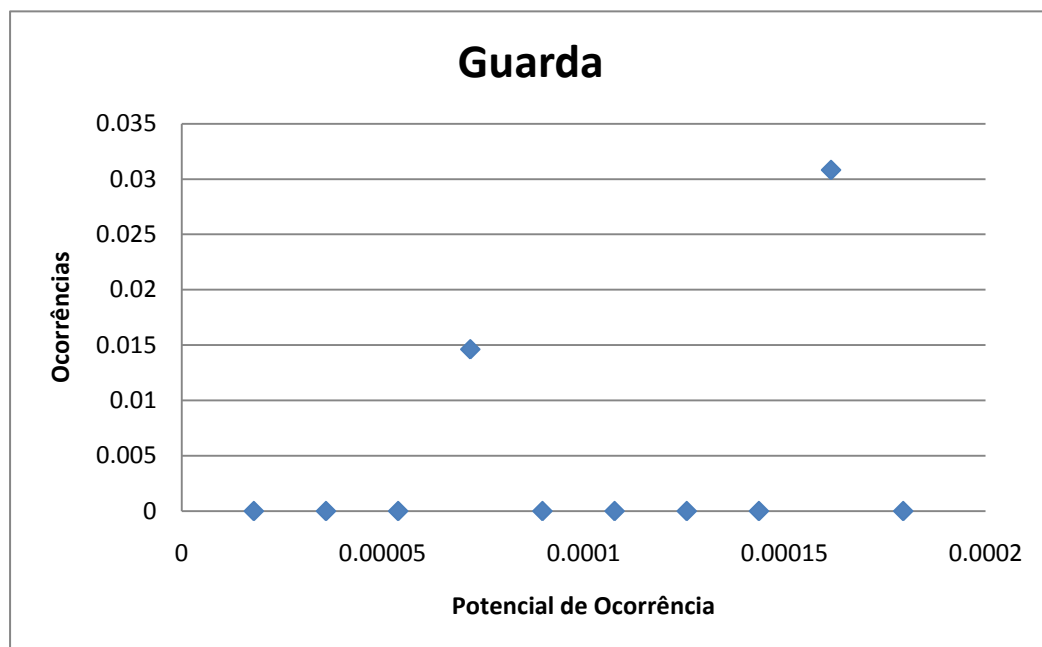


Figura 6.2 - Gráfico com a dispersão de pontos do Potencial de Ocorrência em função dos valores das Ocorrências para o distrito de Guarda.

A partir do gráfico obtido para o distrito de Guarda, com a dispersão de pontos de ocorrência de falhas em relação ao valor resultante da fórmula do PO para falhas devido a incêndios, procede-se à aplicação e parametrização da função sigmoide de forma a criar uma curva que realize a aproximação dos pontos.

A título de exemplo, apresentam-se dois gráficos que traduzem, respectivamente, a dispersão de pontos entre o PO e as ocorrências de falha devido a descargas atmosféricas no distrito de Faro e entre o PO e as ocorrências de falha devido a cegonhas para o distrito de Setúbal.

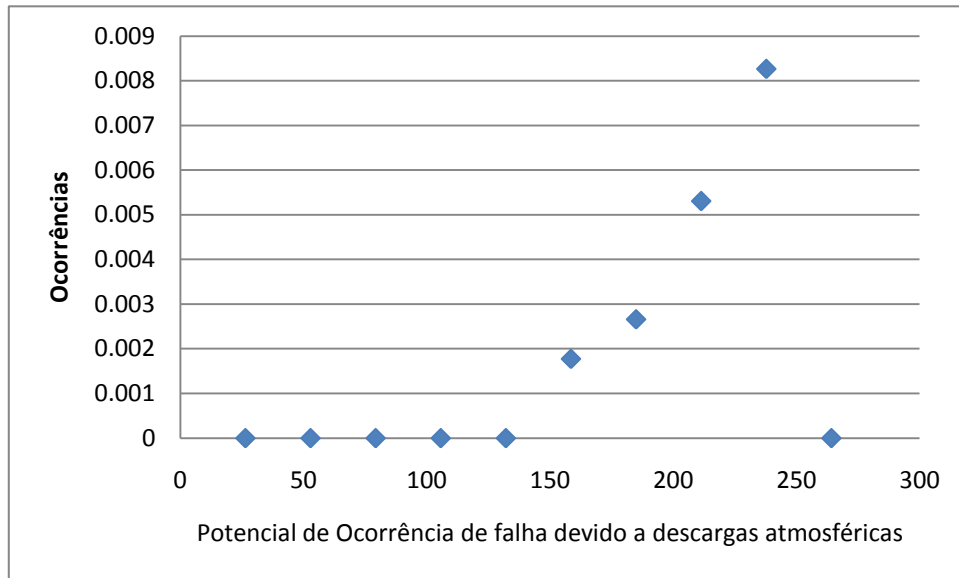


Figura 6.3 - Gráfico com a dispersão de pontos das Ocorrências em função dos valores do Potencial de Ocorrência para falhas devido a descargas atmosféricas para o distrito de Faro.

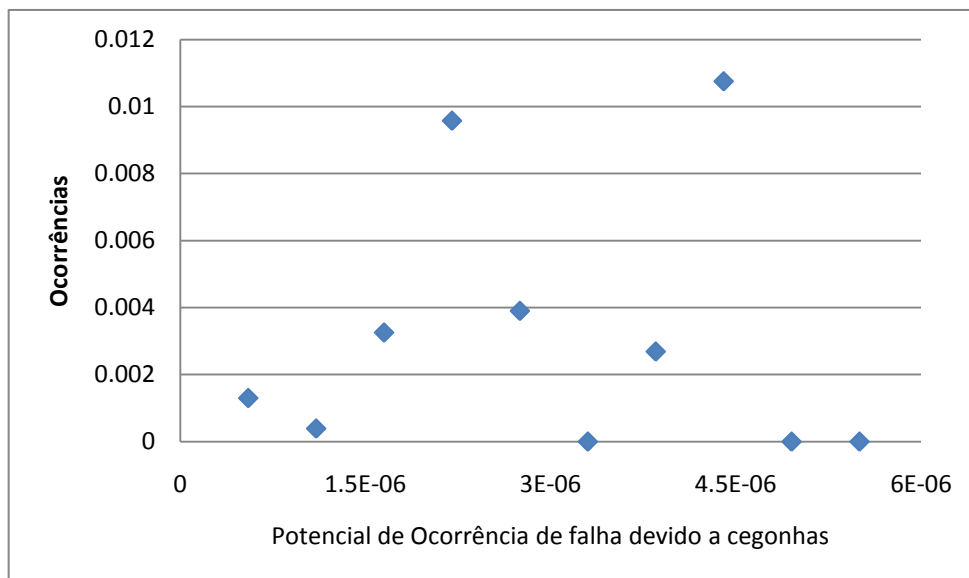


Figura 6.4 - Gráfico com a dispersão de pontos das Ocorrências em função dos valores do Potencial de Ocorrência para falhas devido a cegonhas para o distrito de Setúbal.

6.3. Parametrização da sigmoide

A função da sigmoide que é utilizada neste capítulo segue a seguinte equação:

$$Y(x) = Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{\left(1 + \exp\left(\frac{-8 * (x - tc)}{ts}\right)\right)} \quad (6.7)$$

em que;

Y_{min} - Valor mínimo da escala do eixo dos yy

Y_{max} - Valor máximo da escala do eixo dos xx

tc - Valor central da curva da sigmoide

ts - intervalo de valores do eixo dos xx entre o período de ascensão e o período de suavização da curva.

A figura a seguir apresentada demonstra a influência de cada um destes parâmetros na modelização da curva da sigmoide.

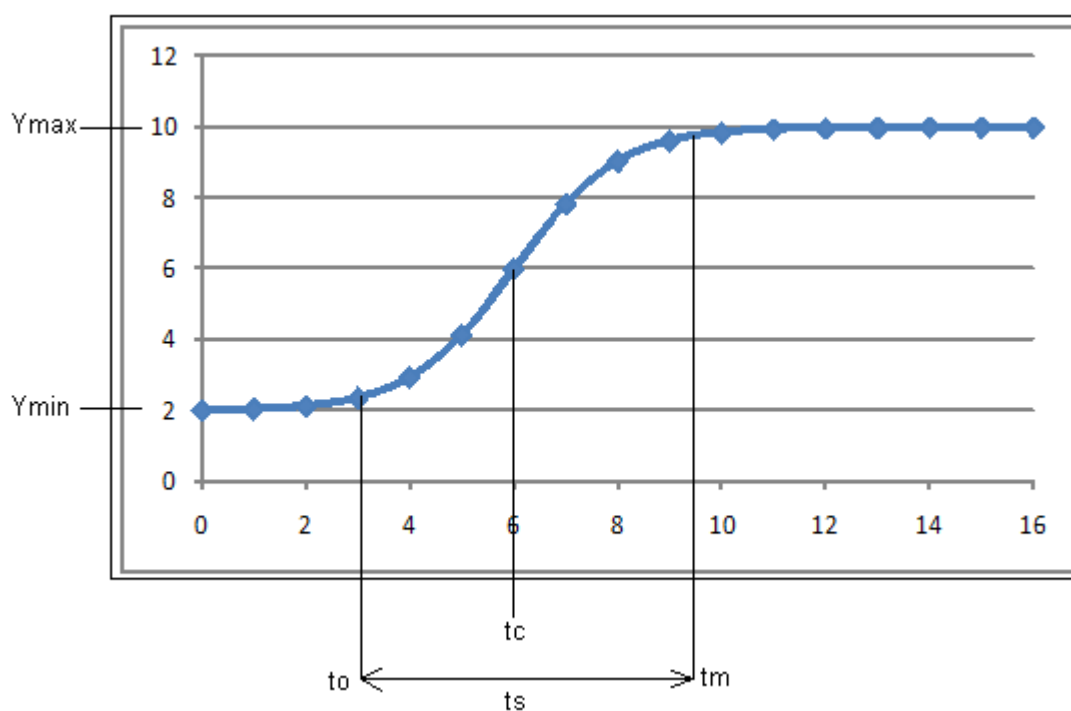


Figura 6.4 - Parametrização da função sigmoide; influência de cada um dos parâmetros da função

Na equação 6.7, temos que os resultados da função sigmoide são obtidos em função dos parâmetros x , tc e tm . O valor de x não é mais que o valor do potencial de ocorrência, e os parâmetros tc e ts são obtidos em função de to e tm , através das seguintes equações:

$$tc = \frac{tm+to}{2} \quad (6.8)$$

$$ts = tm - to \quad (6.9)$$

em que;

to - Valor no eixo dos xx para o momento de ascensão da curva

tm - Valor no eixo dos xx para o momento de suavização da curva

É com base na escolha de valores para estes dois parâmetros que será modelizada a curva e realizada a aproximação da curva aos pontos relativos às ocorrências. A escolha dos valores dos parâmetros é realizada manualmente, isto é, vão sendo atribuídos valores até à curva obtida se aproximar o mais possível dos pontos das ocorrências. A função utiliza como variável independente o conjunto dos dez valores relativos ao PO.

Desta forma, aplicando o raciocínio ao exemplo demonstrado para o capítulo 6.2, obtemos para a probabilidade de ocorrência de falha devido a incêndio para o distrito de Guarda o seguinte gráfico:

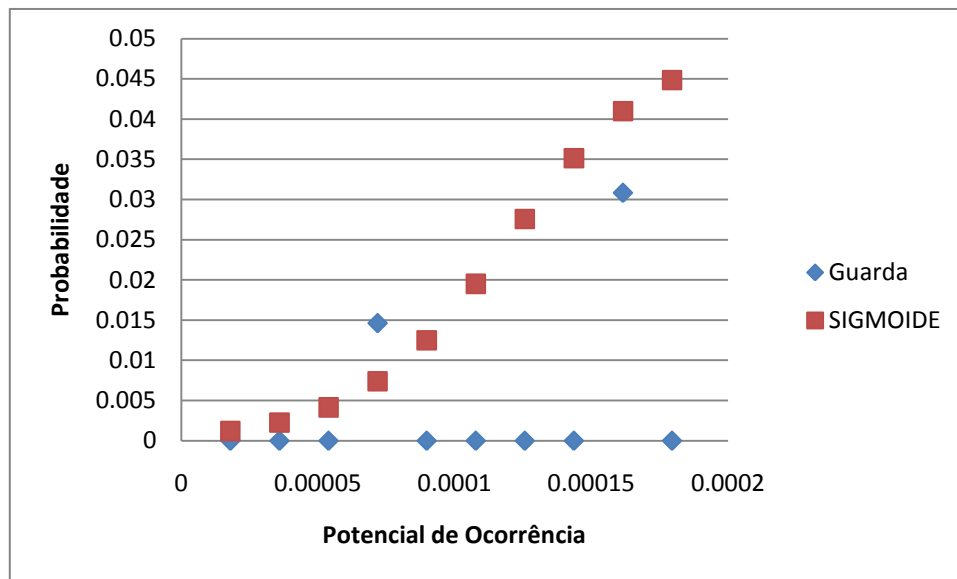


Figura 6.5 - Forma final da curva obtida para a sigmoide relativa à probabilidade de ocorrência de falhas devido a incêndio para o distrito de Guarda.

A obtenção desta curva permite obter no final uma equação que define o valor da probabilidade de ocorrência de falha devido a incêndio para aquele distrito. Para o exemplo em concreto, a função final obtida é dada por:

$$PF(\text{incêndio}, \text{Guarda}) = \frac{0.05}{\left(1 + \exp\left(\frac{-8 \cdot (PO - 0.00001)}{0.00022}\right)\right)} \quad (6.10)$$

em que;

PF - Probabilidade de falha devido a incêndios no distrito de Guarda

O formato alongado é ideal para representar os cenários de ocorrência de falha que se pretendem demonstrar neste trabalho. De facto, ao observamos a curva da sigmoide, vemos que numa primeira fase há uma subida ligeira em que um aumento, relativamente grande, nos valores do PO no eixo dos xx não é suficientemente significativo para levar à ocorrência de falhas. Há seguidamente, uma segunda fase da curva, em que a relação entre o PO e as Ocorrências assemelha-se a uma relação linear, à medida que o PO aumenta, a probabilidade de ocorrência de falha aumenta em igual proporcionalidade. Há, na parte final da curva uma terceira parte em que a curva suaviza, isto acontece quando o valor do PO é de tal forma significativo que, para valores iguais ou acima, há forte probabilidade de ocorrer uma falha, tendo em conta que já se registaram falhas a este nível.

Na tabela apresentada a seguir podemos ver, a título de exemplo, todas as parametrizações efectuadas para as sigmoids relativas à probabilidade de ocorrência de falha nos 18 distritos.

Tabela 6.5 - Valores dos parâmetros das funções sigmoids para cada distrito

	Ymin	Ymax	tc	ts	t0	tm
Aveiro	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Beja	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Braga	0	0.01	0.000175	0.00035	0	0.00035
Bragança	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Cast. Bran	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Coimbra	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Evora	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Faro	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Guarda	0	0.05	0.00001	0.00022	-0.0001	0.00012
Leiria	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Lisboa	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Portalegre	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Porto	0	0.02	0.00026	0.00062	-0.00005	0.00057
Santarem	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Setubal	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
V. Castelo	0	0.01	0.00025	0.0005	0	0.0005
Vila Real	0	0.09	0	0.0001	-0.00005	0.00005
Viseu	0	0.02	0.00015	0.0004	-0.00005	0.00035

De referir que, tal como podemos ver na tabela apresentada, há distritos cujos parâmetros têm igual valor. Isto acontece porque se tratam de distritos nos quais não houve registo de falhas e, consequentemente, não pontos para se proceder à parametrização da função sigmoide. Quando isto acontece, o procedimento optado passou por atribuir o valor nulo para t_0 , e fundamentalmente, atribuir para Y_{max} , o valor mínimo que se obteve em todas as funções parametrizadas. No caso em questão, Y_{max} assumiu o valor de 0,02 igual ao parametrizado para o distrito de Braga. A negrito estão representados os distritos para os quais havia registo de falhas e que foram parametrizados de acordo com esses dados.

É com base nesta função que se torna possível, para um determinado dia em que se pretenda conhecer a probabilidade de ocorrência de falha devido a esta causa num determinado distrito, utilizamos o valor obtido para o PO para esse dia e distrito, calculado no capítulo 5.2 através da equação 5.1, como variável da entrada da função. Diferentes valores do PO que se verificam ao longo dos dias do ano irão originar diferentes probabilidades consoante o valor do PO verificado para aquele dia, que por sua vez, no caso do PO devido a incêndios, são dependentes do valor de parâmetros como as variáveis atmosféricas ou a densidade de linhas. No global, é a variação destas variáveis que influenciam a potencialidade de ocorrer um falha devido a incêndio, potencialidade esta que agregada com a informação que advém das falhas registadas permite construir uma função, adequada para cada distrito, que fornece um valor para a probabilidade de ocorrência de falha.

Para as restantes causas em estudo, a parametrização seguiu o mesmo processo, com base no PO modelizado para cada causa e no correlacionamento com as falhas ocorridas para cada causa, parametrizou-se para cada distrito, a função sigmoide relativo a cada causa.

De realçar o facto de que o parâmetro Y_{max} presente na função sigmoide, representa, graficamente, o valor máximo que a probabilidade de ocorrência de falhas devido a incêndios pode assumir para o distrito em causa de acordo com a modelização efectuada que, como já foi visto, assenta nas falhas ocorridas nesse mesmo distrito com origem na mesma causa. De acordo com o número de quilómetros de linha afectados no distrito de Guarda, há uma probabilidade máxima de 0,05, ou 5%, de ocorrer uma falha. Por outras palavras este valor representa o tecto máximo para o valor da probabilidade e é com este valor que deve ser comparado, como será feito graficamente mais à frente, com os resultados diários que se obtém com o uso da função sigmoide.

De referir ainda, que a utilização de valores médios relativos às variáveis atmosféricas na modelização do PO de ocorrência de falhas devido a incêndios e a cegonhas origina que a sigmoide parametrizada para estes casos, forneça resultados diários para a probabilidade de ocorrência de falhas. Já no caso do PO de ocorrência de falhas devido ao vento e às descargas atmosféricas, os resultados obtidos têm uma distribuição horário devido à utilização de dos valores horários das variáveis atmosféricas.

A título de exemplo, as imagens seguintes demonstram as curvas obtidas e respectivas equações para os casos anteriormente dados como exemplo:

- Probabilidade de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas no distrito de Guarda

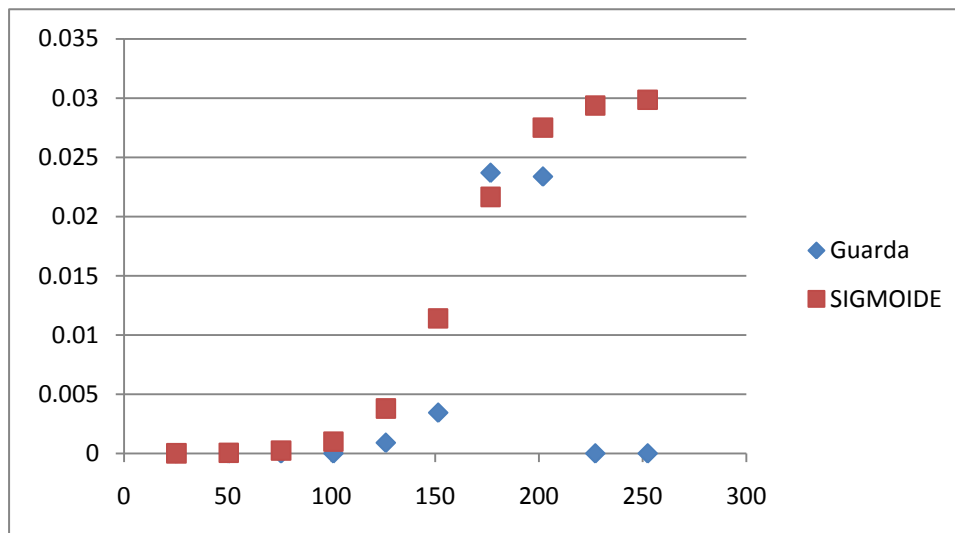


Figura 6.6 - Curva obtida para probabilidade de falha devido a descargas atmosféricas no distrito de Faro

- Probabilidade de ocorrência de falha devido a cegonhas no distrito de Setúbal

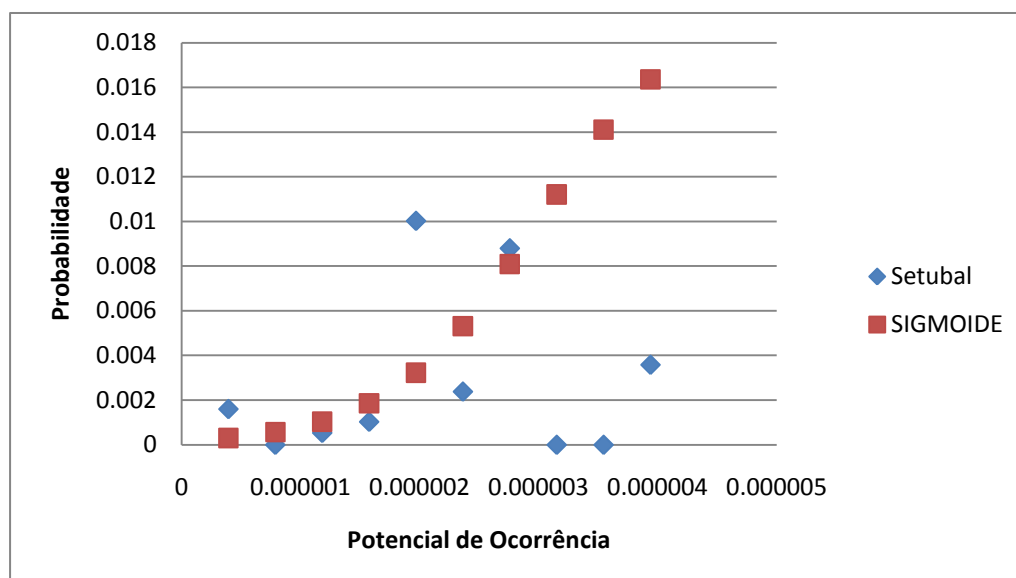


Figura 6.7 - Curva obtida para probabilidade de falha devido à presença de cegonhas no distrito de Setúbal

6.4. Agregação global das causas

Neste subcapítulo pretende, com base nas sigmóides criadas para cada causa, para cada distrito, efectuar uma agregação, em cada distrito das funções de probabilidade obtidas, criando um índice global de ocorrência de falha para cada distrito. Este índice pretende dar, para cada hora do ano, um valor da probabilidade de suceder uma falha, mas sem discriminar qual será o motivo da falha já que um índice é construído com base na agregação dos quatro índices referentes às quatro causas.

A modelização deste índice é realizada assumindo que cada uma das causas são tratadas como acontecimentos independentes, e como tal, não dependem entre si para a ocorrência de uma falha. Seguindo esta ideologia, a associação das causas é realizada de acordo com a equação:

$$\begin{aligned} PF(Distrito\ k) = \\ 1 - \left[(1 - PF_{incêndios}(Distrito\ k)) * (1 - PF_{cegonhas}(Distrito\ k)) \right. \\ \left. * (1 - PF_{trovoada}(Distrito\ k)) * (1 - PF_{vento}(Distrito\ k)) \right] \end{aligned} \quad (6.11)$$

A equação demonstra bem a exclusividade de ocorrência de eventos, ou seja, o valor obtido para a probabilidade de falha de um dado distrito, será já significativo bastando para tal, que uma das probabilidades de falha individuais possua valores significativos. Para além disso, a Probabilidade de Falha para o distrito k terá o seu valor máximo quando cada uma das probabilidades de falha individuais atingirem o seu máximo, que matematicamente, corresponde à soma do parâmetro Y_{max} presente em cada uma das sigmóides que caracterizam a probabilidade de falha individual para cada causa para o distrito k .

De acordo com esta metodologia obtemos resultados para a probabilidade de falha para um dado distrito com uma discretização horária. A figura a seguir apresentada mostra o resultado que se obtém para o distrito de Viseu.

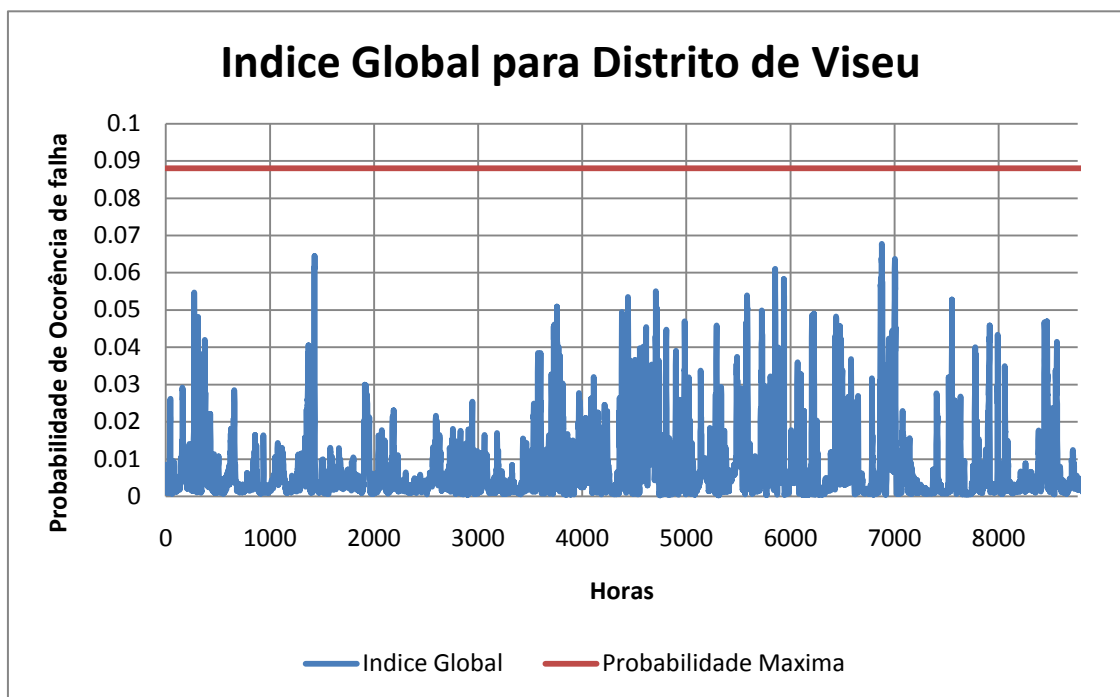


Figura 6.8 - Índice de probabilidade de ocorrência de falha para o distrito de Viseu.

Conforme se pode ver, obtemos então, com um tom de azul, um Índice com uma distribuição bastante variável para a probabilidade de ocorrência de falha, ao longo das 8760 horas que compõem um ano. Esta variação no índice, tem por base todos os parâmetros anteriormente analisados que fizeram parte da modelização de cada um dos índices individuais, como a variação horário dos valores da temperatura ou da velocidade do vento.

A traço vermelho temos a probabilidade máxima que este índice pode obter, 0,088 ou 8,8%, se para tal, estivessem reunidas todas as condições favoráveis à ocorrência do máximo de probabilidade de falha em cada um dos índices individuais de falha realizados para cada causa, de acordo com a equação 6.11.

Um outro exemplo que descreve bem a utilidade do índice elaborado, é o índice que descreve a probabilidade de falha no distrito de Vila Real, descrito no gráfico seguinte:

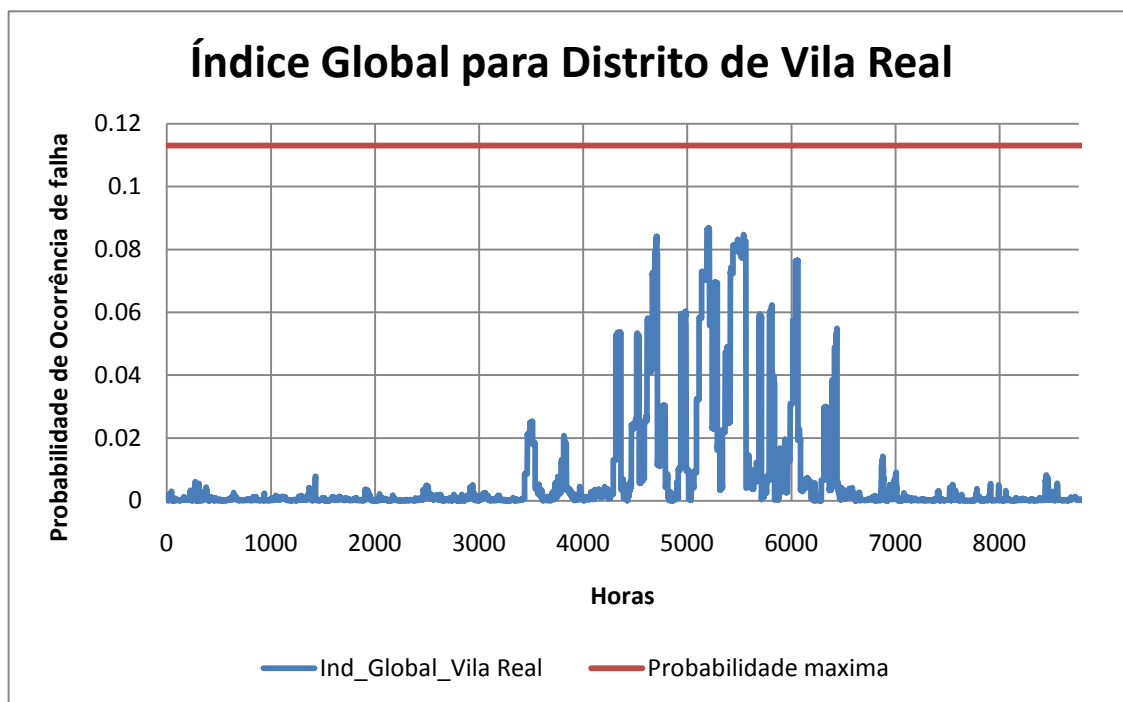


Figura 6.9 - Índice de probabilidade de ocorrência de falha para o distrito de Vila Real

Analisando o gráfico, é de fácil percepção que, para este distrito, há uma maior preponderância para a ocorrência de falhas para um período que decorre, aproximadamente, entre as 4300 horas e as 6500. Convertendo para dias do ano, estamos a referir-nos ao período que decorre, entre o início do mês de Julho e o fim de Setembro. Se voltarmos umas páginas atrás até ao subcapítulo onde se realizou o tratamento de dados relativo aos incêndios, vemos que este período de maior probabilidade de falha coincide com o período de ocorrência de incêndios, factor este que desde logo assume uma maior probabilidade de ocorrência de falha nas linhas, falha essa cuja causa, neste caso, até perceptível.

Para além disso, o índice de previsão de falha assume esta distribuição, muito devido ao facto de ser construído, entre outros factores, com base no histórico de falhas nas linhas. Analisando a lista de falhas da RNT, temos que, para todas as linhas que, totalmente ou parcialmente, estão contidas no distrito de Vila Real, aquelas em que houve, ao longo do ano de 2010, um registo de ocorrência de falha, esta falha foi sempre derivada da deflagração de um incêndio. Queremos com isto dizer, que estamos perante um índice que nos fornece a probabilidade de falha para o distrito de Vila Real, distrito esse onde todas as falhas ocorridas advém da mesma causa, daí a sua distribuição assemelhar-se à distribuição de ocorrências de incêndios.

Não quer isto dizer que, não possa, contudo, ocorrerem falhas derivadas de outras causas, mas a verdade é que sendo o gráfico construído com base nas ocorrências de falha registadas nas linhas contidas naquele distrito, este facto influencia a modelização dos índices individuais de probabilidade de falha que, por sua vez, afectam o índice global de falha.

Como é possível observar pelo gráfico, o facto de o Índice ter uma distribuição horária, tem por consequência que se torna difícil de apresentar com clareza neste documento devido à extensão dos valores no eixo das horas. Nas imagens que se sequeem serão analisados as

variações do índice com maior detalhe, comprimindo o eixo das horas para momentos de efectiva importância.

Tendo sido realizada a modelização do índice de probabilidade de ocorrência de falha, é interessante proceder a uma análise da exactidão ou fiabilidade do índice encontrado, quer do global quer dos individuais. O modelo, tendo sido desenvolvido tendo por base as ocorrências de falha nas linhas relativas ao ano de 2010, os valores horários das variáveis atmosféricas também eles relativos ao ano de 2010, para além de dados relativos à ocorrência de incêndios para o mesmo período, torna-se particularmente interessante avaliar o grau de exactidão do modelo criado, efectuando a correspondência entre os valores que se obtêm através dos índices, para um dado distrito, e as ocorrências que na prática se verificaram.

Como será de esperar, as falhas deverão ocorrer em momentos em que se verificaram valores elevados para a probabilidade de falha.

O gráfico a seguir mostra, em detalhe, os resultados que se obtiveram, com o índice global de previsão de falha, para o distrito de Coimbra em contraste com as falhas ocorridas devidas a vento e a descargas atmosféricas.

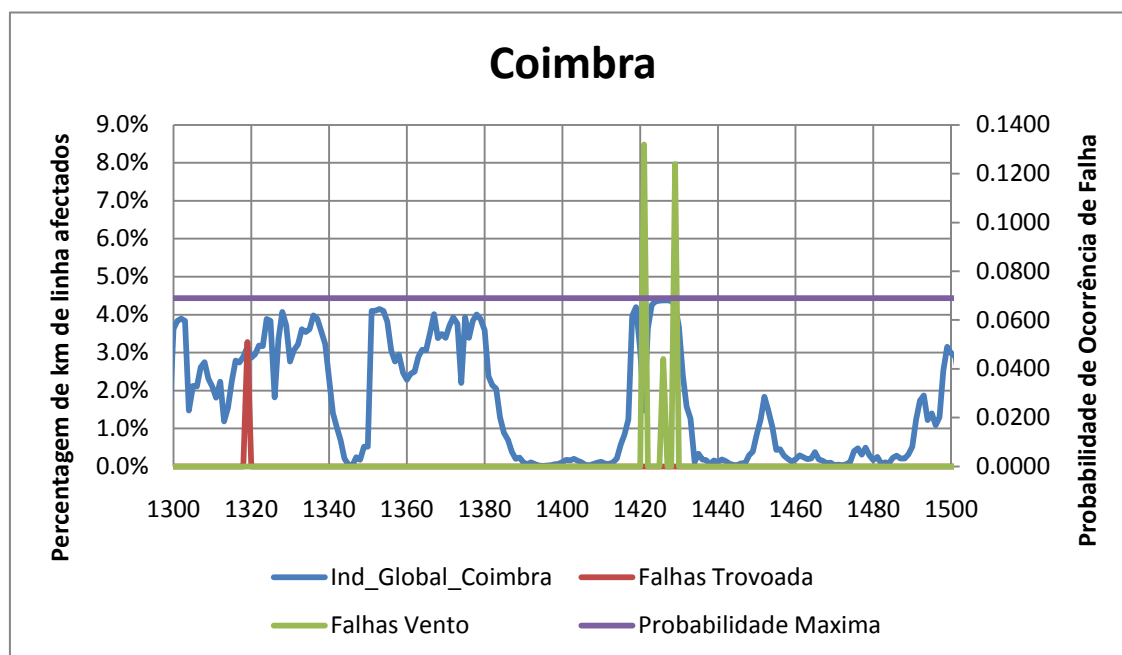


Figura 6.10 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Coimbra em contraste com as falhas ocorridas de vento e descargas atmosféricas

Observando o gráfico temos, a azul, a evolução do índice global para as horas compreendidas entre 1300 e 1500, intervalo este que corresponde, aproximadamente, entre o dia 23 de Fevereiro e 3 de Março, a vermelho, as ocorrências registadas devido a descargas atmosféricas e, a verde, as ocorrências devido ao vento. Para além disso temos ainda, a roxo, a tecto máximo que este índice pode atingir. Pela análise da lista de falhas, temos que no dia 23 de Fevereiro, às 06h, (ponto 1319 no eixo das horas) ocorreu uma falha devido a descargas

atmosféricas. Ocorreu também, no dia 27 de Fevereiro, devido ao vento, três falhas, uma primeira às 08h (ponto 1421), uma segunda às 12h (ponto 1425) e uma terceira às 15h (ponto 1428). Conforme se pode ver pelo gráfico, para estes instantes, o índice acusava valores perto do seu valor máximo, para o caso da falha devido a descargas atmosféricas, e no limiar do valor máximo para as falhas devido a velocidades de vento elevadas, valores esses que realmente correspondem com as falhas ocorridas.

Um outro exemplo é descrito a seguir:

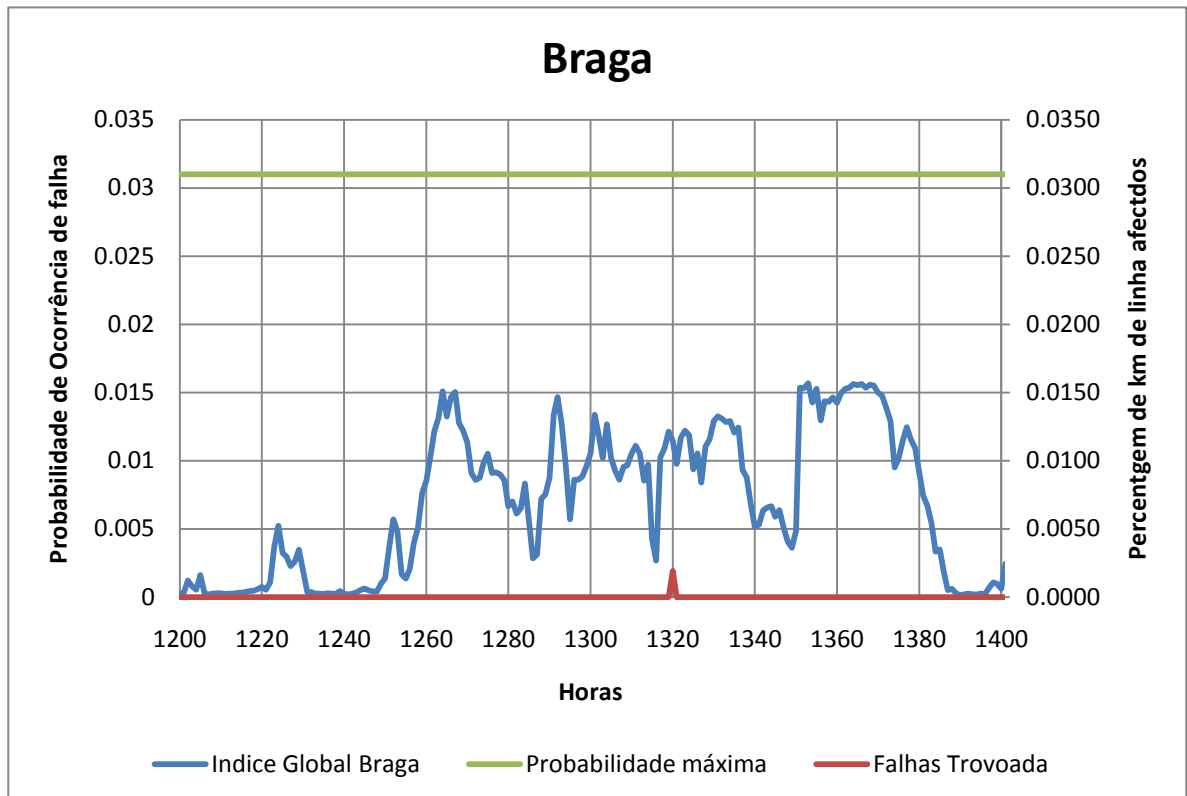


Figura 6.11 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Braga em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas

Na figura anterior temos o detalhe, para o intervalo de horas entre 1200 e 1400, da evolução do índice de probabilidade de ocorrência global para o distrito de Braga em contraste com as ocorrências devidas a descargas atmosféricas. Como é possível verificar, apesar do índice ainda estar relativamente afastado do seu limite, no momento da ocorrência obteve-se um valor significativo de probabilidade, valor esse ao qual corresponde, na prática a ocorrência da falha que se verificou. Para além disso, tendo em conta que a formação de descargas atmosféricas advém essencialmente de factores atmosféricos, podemos verificar que no período compreendido entre as 1250 horas e as 1390, aproximadamente três dias, em que reuniram factores atmosféricos propícios à formação de trovoadas.

Por outro lado, para a linha na qual ocorreu a falha, dado o valor da percentagem de quilómetros de linha afectados no distrito de Braga, é muito provável que esta falha tenha

decorrido num distrito vizinho de Braga no qual esteja contido a maior parte do troço desta linha. Analisando a lista de falhas, temos que a falha decorreu na linha Riba de Ave - Recarei, linha esta que contém maior parte do seu comprimento contido no distrito do Porto. Analisando o gráfico relativo à evolução do índice para o distrito do Porto temos, para o mesmo período horário:

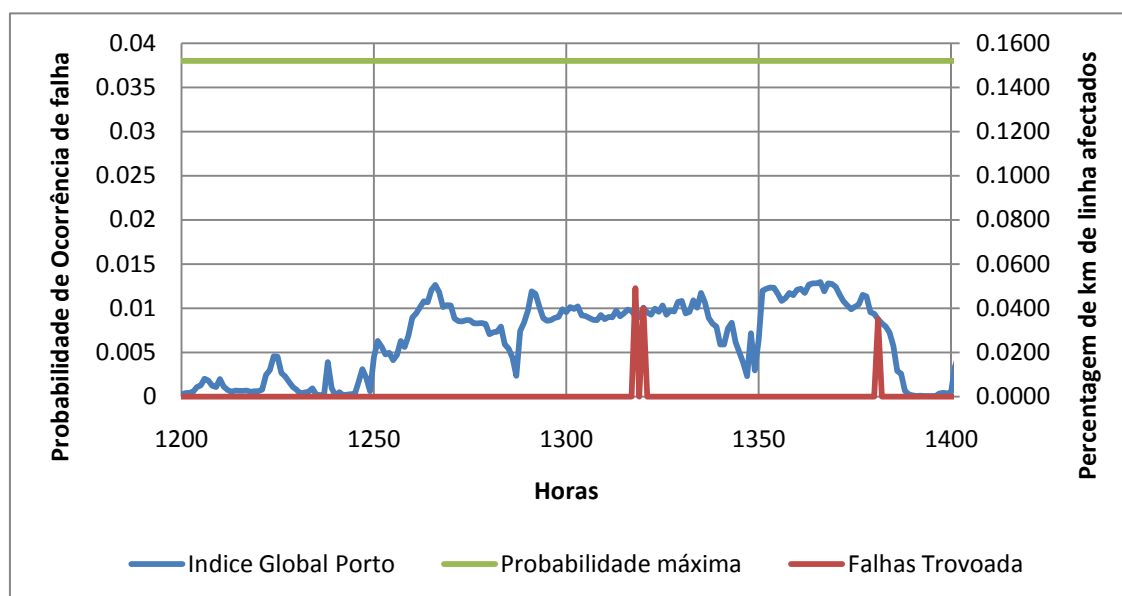


Figura 6.12 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito do Porto em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas

Conforme podemos ver, tem-se a mesma falha ocorrida no mesmo instante, ocorrendo num momento em que o índice acusava valores significativos de probabilidade de ocorrência tendo em conta a evolução do índice nas horas anteriores e posteriores.

Contudo, apesar do índice acusar um valor significativo, quando comparado com o valor limite que o mesmo pode obter, verifica-se que o valor obtido está significativamente afastado do seu limite máximo o que poderia levar o operador a pensar que, embora o valor do índice seja significativo, não se aproxima o suficiente do seu limite máximo de forma a levar a crer que se esteja numa situação de falha provável.

Este é, a principal desvantagem encontrada nesta modelização, desvantagem essa que será alvo de análise no subcapítulo que se segue.

6.5. Resultados Obtidos e Análise Crítica

Conforme vimos no último exemplo, há situações em que se verificou a ocorrência de uma falha em que, apesar do índice responder com valores superiores ao normal, o mesmo não se aproximou o suficiente do limite máximo para levar a crer que se estivesse em situação de falha.

A figura a seguir demonstra um outro exemplo, para o distrito de Guarda, em que contrasta a evolução do índice e as falhas ocorridas devido a descargas atmosféricas. Mais uma vez, temos um período em que ocorreram, neste caso, um conjunto de falhas em momentos em que o índice acusava valores significativos mas ainda assim relativamente afastados do limite máximo.

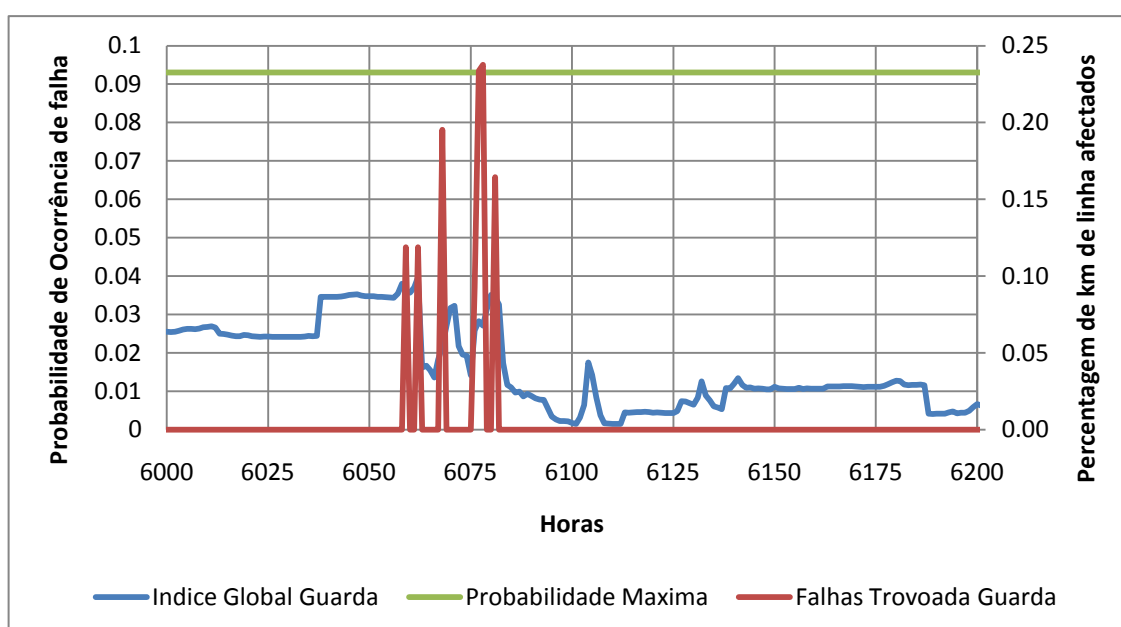


Figura 6.13 - Detalhe da evolução do índice global de ocorrência de falha para o distrito de Guarda em contraste com as falhas ocorridas devidas a descargas atmosféricas

Isto acontece porque o índice global assenta na relação entre os quatro índices modelizados individualmente para cada uma das causas. Com isto quer-se dizer que, tendo em conta que variáveis como a humidade afectam os índices da probabilidade de ocorrência de falha devido a incêndios e devido a descargas atmosféricas, um maior teor de humidade traz como consequência a diminuição de probabilidade de ocorrência de incêndio, que por sua vez, diminui a probabilidade de ocorrência de falha. Por outro lado, um maior teor de humidade origina uma maior probabilidade de formação de descargas atmosféricas o que origina uma maior probabilidade de falha devida a esta causa. A junção destes dois índices aquando da modelização do índice global, faz com que existam momentos ao longo do tempo, como o caso demonstrado na figura atrás, em que, apesar de estarem reunidas as condições para uma provável falha devido à ocorrência de descargas atmosféricas, contribuindo para um valor significativo para o índice individual de ocorrência de falha devido a descargas

atmosféricas, na junção dos quatro índices, os restantes três não permitem uma subida significativa do valor da probabilidade do índice global.

Isto leva-nos a hipótese do uso dos índices individuais ao invés do índice global. De facto, se analisarmos a figura que se segue, vemos que o uso dos índices individuais contribui para uma melhor percepção da probabilidade de estarmos ou não numa situação de forte probabilidade de ocorrência de falha.

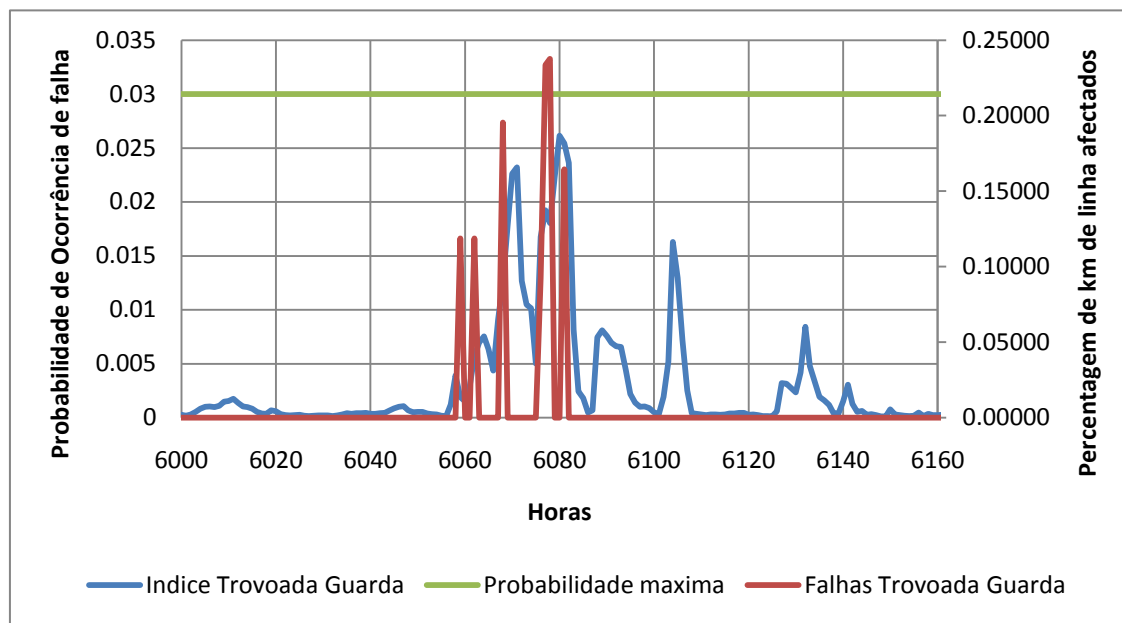


Figura 6.14 - Detalhe da evolução do índice de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Guarda.

Temos na figura representada a evolução do índice de probabilidade de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas para o distrito de Guarda em conjunto com as falhas ocorridas. Conforme podemos ver, temos no eixo das horas o mesmo período de tempo que estava representado na figura anterior e para o mesmo distrito, sendo que neste caso, com o uso deste índice, verificamos que no momento de ocorrência das falhas, o índice assumia valores bastante significativos, quer em comparação às horas anteriores ou posteriores quer em comparação ao limite máximo que a probabilidade de falha para este distrito devido a esta causa pode assumir. Nota-se o registo da ocorrência de seis falhas, a traço vermelho, e o evoluir significativo da curva do índice em torno da ocorrência das mesmas.

De forma realizar uma análise crítica com detalhe, o gráfico a seguir mostra a mesma situação mas para um período de horas mais reduzido.

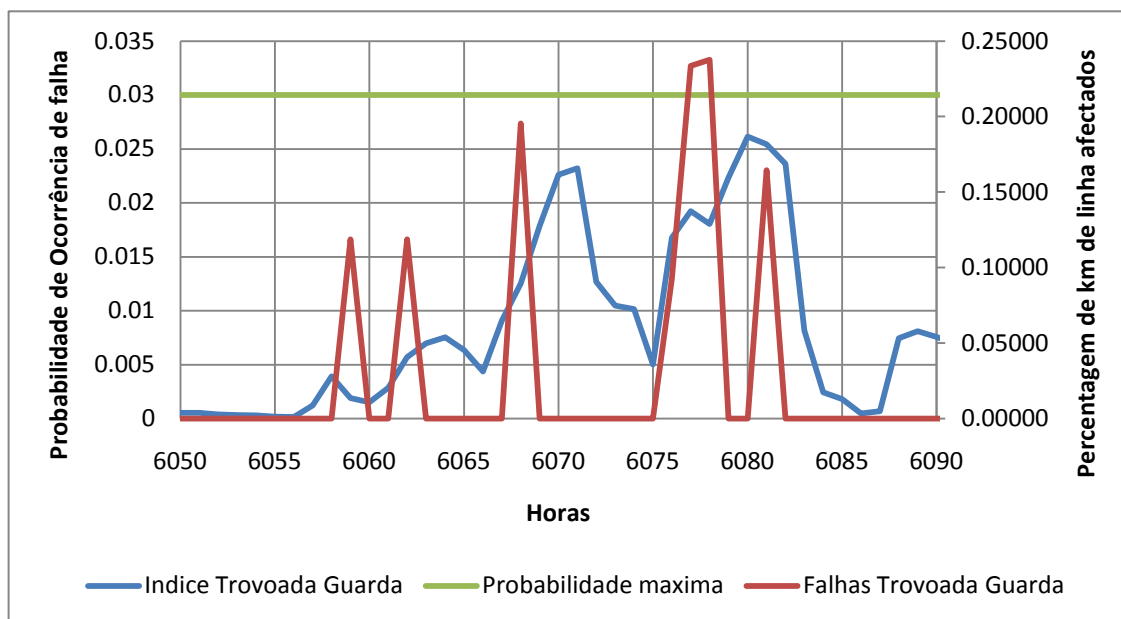


Figura 6.15 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a descargas atmosféricas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Guarda.

Conforme é visível temos a ocorrência de seis falhas no período de horas em análise. Para as duas primeiras ocorrências, é um facto de que o índice apresentava valores que não eram susceptíveis de levar a crer numa eventual ocorrência de falha, apesar de a mesma ter ocorrido. Contudo, se olharmos para o eixo da percentagem de quilómetros de linha afectados nas falhas, temos para estas duas ocorrências, aproximadamente 0,12 ou 12%, o que quer isto dizer que, há também uma certa probabilidade daquelas duas falhas terem ocorrido num distrito vizinho da Guarda, numa linha que contempla dois ou mais distritos mas em que o ponto de ocorrência da falha está contido noutro distrito.

Por outro lado, nas quatro falhas restantes, temos em primeiro valores significativos para a probabilidade de ocorrência de falha, em pontos no eixo das horas como o 6080, este mesmo índice aproximou-se bastante do seu limite máximo, e valores mais relevantes para a percentagem de quilómetros de linha afectados, ou por outras palavras, para a hipótese das três falhas anteriormente registadas terem ocorrido naquele distrito.

Obtemos então, com a utilização deste índice, uma variação do mesmo em torno das ocorrências de falha anteriormente registadas que indica com clareza a forte probabilidade de estarmos perante uma situação de ocorrência de falha, de uma forma mais objectiva do que os resultados que eram obtidos aquando da utilização do índice global de probabilidade de falha.

As imagens que se seguem demonstram alguns exemplos de resultados que se podem obter com a utilização dos índices individuais modelizados. Mostram-se, exemplos para ocorrências devidas a vento, incêndios e cegonhas. De realçar que nestes dois últimos, tal como foi visto aquando da sua modelização, a escala não é horário mas sim diária.

Pormenor da curva do Índice de probabilidade de ocorrência de falha devido ao vento para o distrito de Coimbra

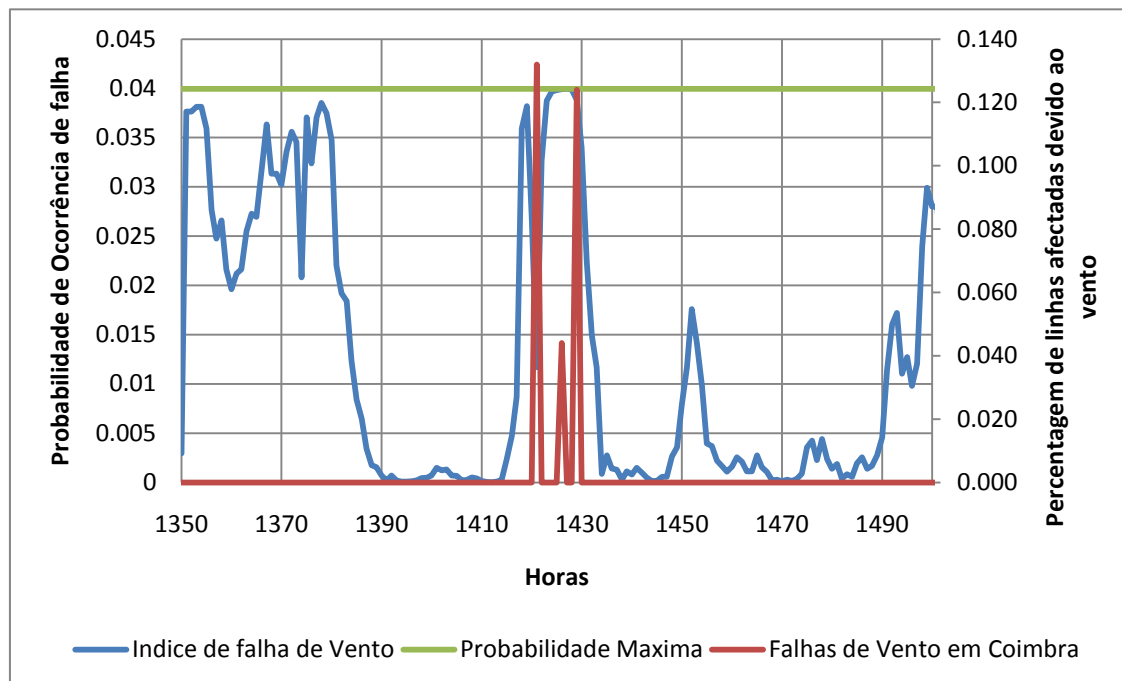


Figura 6.16 - Detalhe da evolução do índice de ocorrência de falha devido ao vento em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Coimbra.

Pormenor da curva do Índice de probabilidade de ocorrência de falha devido a incêndios para o distrito de Vila Real.

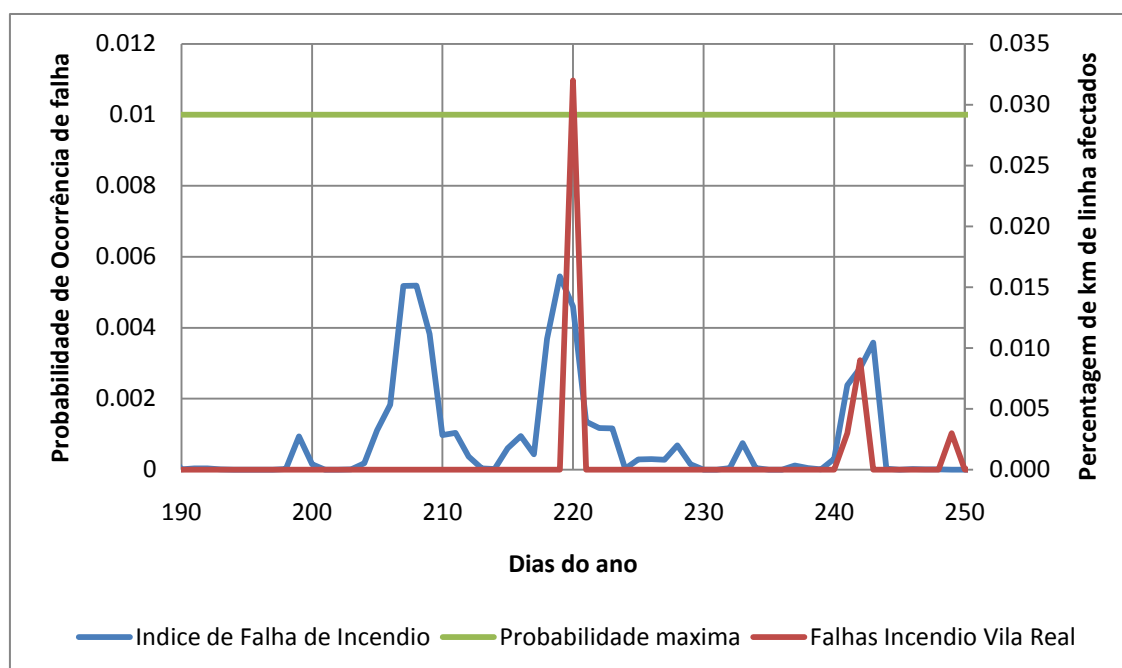


Figura 6.17 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a incêndios em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Vila Real

Pormenor da curva do Índice de probabilidade de ocorrência de falha devido a cegonhas para o distrito de Coimbra

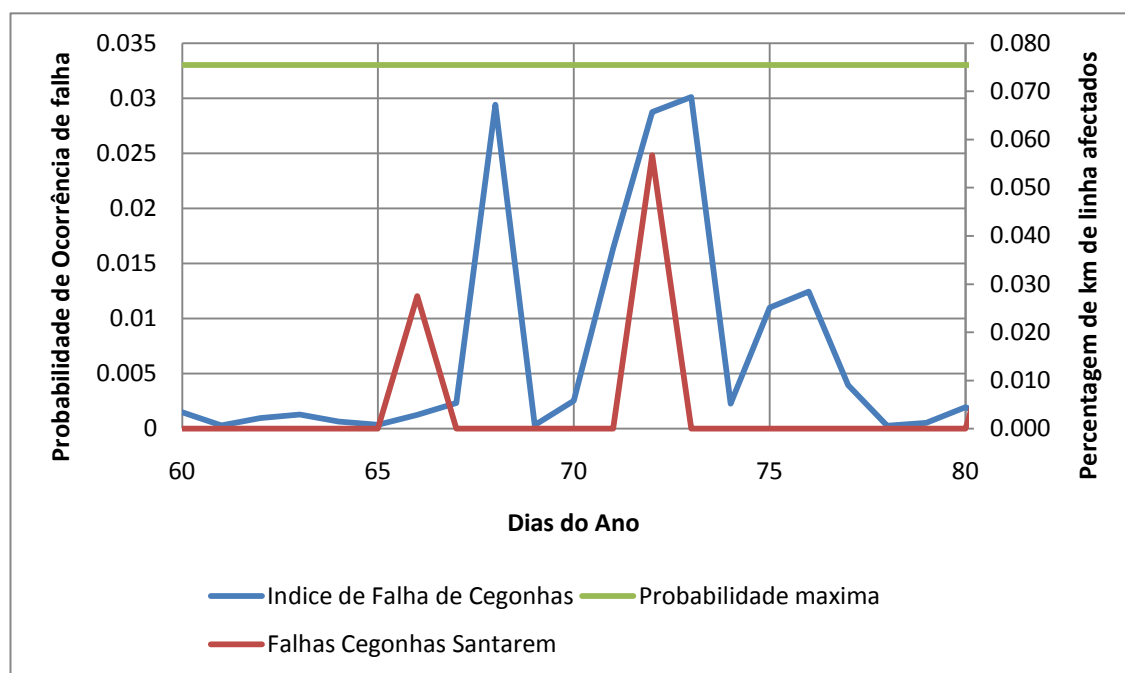


Figura 6.18 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a cegonhas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Santarém.

Pormenor da curva do Índice de probabilidade de ocorrência de falha devido a cegonhas para o distrito de Lisboa

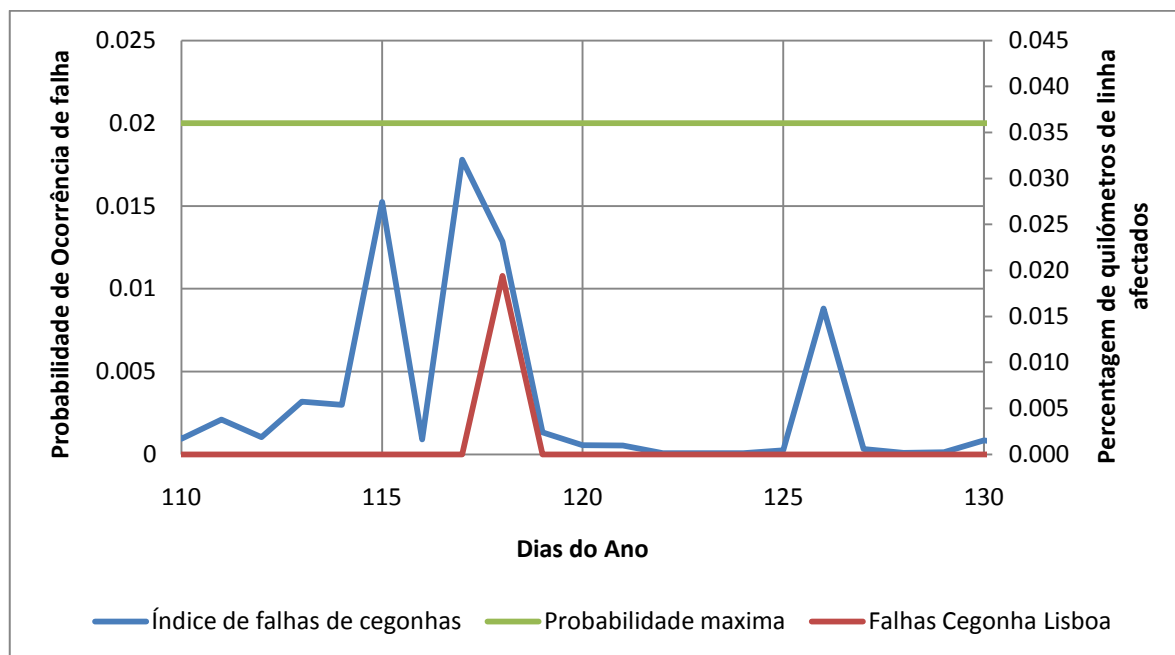


Figura 6.19 - Detalhe ampliado da evolução do índice de ocorrência de falha devido a cegonhas em contraste com as falhas ocorridas para o distrito de Lisboa.

Capítulo 7

Conclusões

7.1. Contribuições

Apresentou-se nesta dissertação um modelo de previsão de ocorrência de falha para lidar com o problema das falhas que ocorrem, ao longo de um ano, derivadas de eventos atmosféricos considerados adversos e acidentes ambientais, como são exemplo os incêndios. Estes eventos, distintos entre si, dependem de um conjunto de factores como as variáveis meteorológicas ou a área de vegetação, que quando manifestados em concordância, favorecem a sua ocorrência que, consequentemente, podem, e originam, falhas na rede de transporte de energia.

Foi com base nestes factores e parâmetros que foi modelizado um modelo em que a determinação da potencialidade de ocorrência de uma causa específica é cruzada com a informação do histórico de registos de falhas com o objectivo de construir um modelo de previsão de falha, com uma discriminação horária e/ou diária e desagregado geograficamente por distritos, realizado para as quatro causas que estão na origem da maior parte das falhas registadas nas linhas da rede de transporte: vento, descargas atmosféricas, incêndios e cegonhas.

Obeve-se como resultado final, para cada uma das quatro causas analisadas, um índice de probabilidade de ocorrência de falha a um nível distrital, índices estes que têm uma distribuição horária no caso de ocorrências relacionadas com o vento e a formação de descargas atmosféricas, e diário no caso de ocorrências derivadas de incêndios ou presença de cegonhas. Da junção destes quatro índices, modelizou-se um índice global que assenta na exclusividade de acontecimentos, que fornece como resultado, a probabilidade de ocorrência para um determinado distrito de uma falha, independentemente do motivo que esteja na origem da sua ocorrência.

Os resultados obtidos para cada um dos índices de probabilidade de ocorrência de falha mostram que os mesmo têm um comportamento bastante razoável, conseguindo-se com os

mesmos obter resultados correctos para a probabilidade de falha na maioria dos casos em que se registou ocorrência de falhas. Para a maioria dos casos em que, para uma dada causa e para uma dada falha, a percentagem de quilómetros de linha afectados num dado distrito era significativa, levando a crer que aquela falha teria ocorrido naquele distrito, obtiveram-se valores para o índice perto do seu limite máximo, o que está de acordo com o esperado.

De realçar a modelização do índice de ocorrência de falha devido à presença de cegonhas que, de todos os índices foi o menos resultados satisfatórios obteve, muito devido à difícil elaboração do correlacionamento e modelização entre o momento temporal e espaço geográfico de ocorrência das falhas e os diversos parâmetros e variáveis geográficas, tornando difícil a determinação da probabilidade de ocorrência de falha.

No que diz respeito ao índice global modelizado, os resultados obtidos mostram que, apesar do índice global fornecer valores que, para o ano de 2010, estão de acordo com o momento temporal em que foram registadas falhas nas linhas, uma análise mais detalhada mostrou que a junção das quatro causas afecta o valor da probabilidade obtida na medida em que na base da modelização de cada uma das probabilidades individuais de ocorrência de falha estão incluídos factores atmosféricos, que para um mesmo valor que possuam, são favoráveis à ocorrência de uma dada causa e desfavoráveis à ocorrência de outras, o que traz como consequência um valor mais reduzido para a probabilidade do índice global do que o suposto.

Toda a modelização aqui efectuada teve por base um conjunto de informação relativa a diferentes variáveis, em que de comum têm o facto de serem relativos ao ano de 2010. É de fácil percepção, que o grau de precisão do modelo desenvolvido seria tanto maior quanto maior for todo o histórico de informação usado na modelização.

No global e visto num sentido prático, obteve-se um conjunto de índices que permitem ao operador de rede, em qualquer hora, saber qual a probabilidade de falha para um distrito, seja através da consulta do índice global permitindo-o ter uma primeira impressão da probabilidade de falha para aquele dia, seja por consulta dos índices individuais possibilitando resultados mais pormenorizados para a probabilidade de ocorrência de falha e o conhecimento da motivo que poderá estar por detrás da falha, permitindo que o operador tome precauções ao nível da exploração da rede de forma a evitar que uma possível falha tenha por consequência a interrupção de serviço.

7.2. Trabalhos Futuros

O modelo matemático obtido tem, por si só, um elevado nível prático e, ao mesmo tempo, é possuidor de fundamento para a sua realização, quer ao nível do registo das falhas que ocorridas na rede de transporte, quer ao nível de toda a pesquisa e tratamento de dados que estão por detrás do trabalho aqui desenvolvido atribuindo-lhe consistência e veracidade. Contudo, toda a modelização aqui efectuada, perde um pouco da sua praticabilidade na ausência de uma plataforma onde a mesma estivesse implementada. Esta seria, sem dúvida, a melhor ampliação possível para este trabalho, uma plataforma geográfica onde a possibilidade de obter, de uma forma simples e prática, os resultados relativos à probabilidade de ocorrência de falha para um dado dia e/ou hora e para todos os distritos.

Para além disso, a continuação de toda a modelização efectuada utilizando, nos anos subsequentes, de informação relativa às ocorrências de falhas, à variação das diversas variáveis atmosféricas e às ocorrências de incêndios, informação que é variável de ano para ano, contribuiria, matematicamente, devido a um maior número de pontos relativos às ocorrências de falhas e a um aperfeiçoamento das funções que relacionam a dependência entre as ocorrências e os diversos parâmetros, para o aumento de precisão do modelo matemático criado.

Referências

1. Bin, S., et al. *An analysis of extreme-weather-related transmission line outages*. in *Electrical and Computer Engineering*, 1998. *IEEE Canadian Conference on*. 1998.
2. Mohar, T., K. Bakie, and J. Curk. *Advanced planning procedure and operation of distribution network supported by SCADA and GIS*. in *Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE*. 2000.
3. Ying, X., et al. *An approach to the integration of GIS and DMS*. in *Power System Technology, 1998. Proceedings. POWERCON '98. 1998 International Conference on*. 1998.
4. Boulaxis, N.G. and M.P. Papadopoulos, *Optimal feeder routing in distribution system planning using dynamic programming technique and GIS facilities*. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 2002. 17(1): p. 242-247.
5. Skok, M., D. Skrlec, and S. Krajcar. *Genetic algorithm and GIS enhanced long term planning of large link structured distribution systems*. in *Power Engineering 2002 Large Engineering Systems Conference on, LESCOPE 02*. 2002.
6. Yu, Y.X., et al. *A decision making support system for urban distribution planning: models, methods and experiences*. in *Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000. International Conference on*. 2000.
7. Tsay, M.T., W.M. Lin, and A.J. Hwang. *A reliability model based trouble call analysis involving old secondary circuits*. in *Power System Technology, 1998. Proceedings. POWERCON '98. 1998 International Conference on*. 1998.
8. Bhuiyan, M.R. and R.N. Allan, *Inclusion of weather effects in composite system reliability evaluation using sequential simulation*. *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings-*, 1994. 141(6): p. 575-584.
9. Billinton, R. and W. Chenjian. *Predictive reliability assessment of distribution systems including extreme adverse weather*. in *Electrical and Computer Engineering, 2001. Canadian Conference on*. 2001.
10. Billinton, R. and J. Acharya. *Consideration of multi-state weather models in reliability evaluation of transmission and distribution systems*. in *Electrical and Computer Engineering, 2005. Canadian Conference on*. 2005.
11. Autoridade Florestal Nacional, *Relatório Anual de Áreas Ardidas e Ocorrências*. 2010.

12. *Autoridade Florestal Nacional, Fogos Florestais*, <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf>.
13. Gary, C., *La Foudre: histoire des connaissances, nature du phénomène, risques et mesures de protection*. Vol. 2e ed. 1999, Paris: Masson. XV, 224 p.-XV, 224 p.
14. Instituto da Conservação da Natureza, *V Censo Nacional de Cegonha-Branca*. 2004.
15. Infante, S., J. Neves, and J. Ministro, *Estudo sobre o Impacto das Linhas Eléctricas de Média e Alta Tensão na Avifauna em Portugal*. Junho de 2007.
16. Autoridade Florestal Nacional, *Inventário Florestal Nacional*, <http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/ifn>
17. *The Weather Research and Forecasting Model*, <http://wrf-model.org/index.php>
18. *Agência Portuguesa do Ambiente*, <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>
19. Alexandra da Costa Ricardo, *Modelação da Probabilidade de Ocorrência de Incêndio em Povoamentos Florestais de Portugal Continental*. 2010, Universidade Técnica de Lisboa: Lisboa.
20. Escola Nacional de Bombeiros, *Sistemas de Informação de Risco de Incêndio Florestal*. Revista Técnica e Formativa da Escola Nacional de Bombeiros, 1997.

Anexos

Anexo 1

No anexo 1 está presente uma figura representativa do traçado das linhas da rede de transporte, para os três níveis de tensão, 150 kV representado a azul, 220 kV a verde e 400 kV a vermelho, utilizado em formato a ser utilizado em AutoCAD, e utilizado na modelização dos comprimentos de linha.

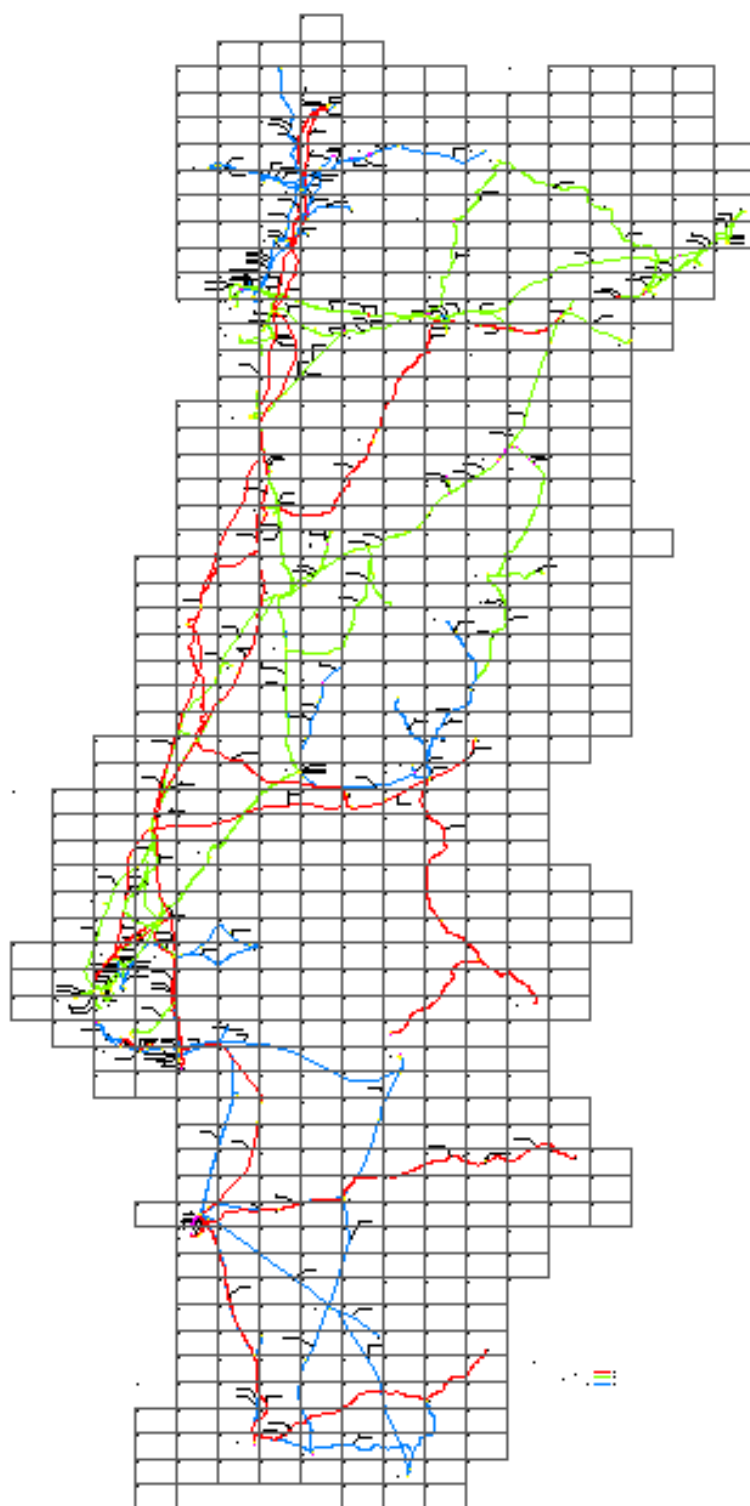


Figura A. 1 - Traçado das linhas da Rede de Transporte